تصميم طلاء مضاد للانعكاس ذي طبقة مفردة وذي طبقتين

رسالة مقدمة إلى
مجلس كلية العلوم – جامعة بابل
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير
علوم في علوم الفيزياء

من

لميس عبد الكريم عبد الله

صفر ١٤٢٧ آذار ٢٠٠٦

Design of Single and Double Layer Antireflection Coatings

A Thesis
Submitted to the Council of College of Science
University of Babylon
In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Physics

By
Lamees Abdul Kareem Abdullah

March ٢٠٠٦ **Sufar**

١٤٢٧

بِسم الله الرَحمن الرَحيم

تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ في السَّمَاءِ بُرُوجاً وجَعَلَ فِيهَا سِرَاجاً وَقَمَراً
مُنِيراً ٦١

صدق الله العظيم

سورة

الفرقان/الآية:

٦١

الإهداء

إنــه بعضُ الوفـاء ...
لعيونٌ تعبت تغمـر عيني بالضيـاء
وقلـوبٍ وهبتني الحب في عز الشقــاء
والدي... والدتي...عذراً فاني لم أجد
لكما غيــر فؤادي والدعـاء
أخوتي ...
ذا أمــلٌ عشـــنــا لـــــه
فتعالـوا نقسـم الزهـو سواء
أخواتي ...
هاكـنّ من فيض روحي القــاً
يشـرح القلب ويحدوه الفـداء
إنــه بعضُ الوفـاء
أساتذتي ...
إنــه غرسـكم صــار فأعطـى
فليبـارك سعيكم رب السمـاء

أهدي ثمرة جهدي المتواضع هذا

شكر وتقدير
الحمد لله الذي جعل الحمد مفتاحاً لذكره وسبباً للمزيد من فضله ودليلاً على آلائه وعظمته، وصلى الله على سيد الخلق محمد خاتم النبيين وعلى آله الطيبين الطاهرين وصحبه الغر الميامين ومن والاه إلى يوم الدين.
يسرني وقد أنهيت إعداد رسالتي أن أقدم شكري وتقديري إلى أستاذي الفاضل الدكتور ياسين حسن كاظم لاقتراحه موضوع البحث وتوجيهاته القيمة في أثناء مرحلة البحث، ولما قدمه لي من مساعدة ومتابعة من اجل إنجاز هذه الرسالة.
وأقدم فائق شكري وتقديري إلى عمادة كلية العلوم وقسم الدراسات العليا، ورئيس قسم الفيزياء الدكتور طالب هادي قدوري، والى أساتذة قسم الفيزياء جميعهم لما قدموه لي من مساعدة.
و أتقدم بخالص الشكر والامتنان إلى جميع منتسبي قسم الفيزياء واخص بالذكر الست سهى طه والست سهير عزيز، وكذلك أقدم شكري وتقديري إلى منتسبي المكتبة المركزية في جامعة بابل وبالأخص قسم الرسائل الجامعية السيد محمد هادي والسيد شدوان عطا الله على التسهيلات التي لقيتها.
كما يلزمني الواجب أن أتقدم بالشكر والتقدير لعائلتي الكريمة التي ساعدتني مادياً ومعنوياً على إكمال دراستي.
وأخيراً أود أن أتوجه بالشكر لجميع زملائي طلبة الدراسات العليا، والى كل من مد يد العون والمساعدة، داعية المولى عز وجل أن يوفقهم جميعاً.

لميس

إقرار اللجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة التقويم والمناقشة، إننا اطلعنا على هذه الرسالة وقد ناقشنا الطالبة في محتوياتها، وفيما له علاقة بها، ورأينا إنها جديرة بالقبول لنيل درجة ماجستير علوم في الفيزياء، وعليه نوصي بقبول الرسالة وبتقدير (امتياز).

رئيس اللجنة

التوقيع:

الاسم: د. احمد محمود عبد اللطيف

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة بابل - كلية العلوم – قسم الفيزياء

التاريخ: / /

عضو اللجنة

عضو اللجنة

التوقيع: التوقيع:

الاسم: د. أمين حبيب حنون الاسم: د. حامد إبراهيم عبود

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد المرتبة العلمية: مدرس

العنوان: جامعة ذي قار - كلية العلوم العنوان: جامعة بابل – كلية العلوم – قسم – قسم الفيزياء

التاريخ: / / التاريخ: / /

(عضو اللجنة(المشرف

التوقيع:

الاسم: د. ياسين حسن كاظم

المرتبة العلمية: مدرس

العنوان: جامعة بابل - كلية العلوم – قسم الفيزياء

التاريخ: / /

مصادقة عمادة كلية العلوم

التوقيع :

الاسم : د.عوده مزعل ياسر

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ : / /

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قرار المشرف على الرسالة

أشهد إن إعداد هذه الرسالة الموسومة بـ " تصميم طلاء مضاد للانعكاس ذي طبقة مفردة وذي طبقتين" المقدمة من قبل الطالبة " لميس عبد الكريم عبدالله " قد جرى تحت إشرافي في قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة بابل، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

التوقيع:
المشرف: د.ياسين حسن كاظم
المرتبة العلمية: مدرس
العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل
التاريخ: / /

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناء"على التوصيات المتوفرة أرشح هذه الرسالة للمناقشة

التوقيع:
رئيس القسم: د.طالب هادي قدوري
المرتبة العلمية: أستاذ مساعد
العنوان: كلية العلوم / جامعة بابل
التاريخ: / /

Abstract
As a result of the electromagnetic wave incidence on the surface of a metal or dielectric material, it losses a part of its energy because of the reflection phenomenon of the incident wave. Many of the optical systems depend on this phenomenon in their design and use optical coating in order to reduce the lost energy. Optical coating is a group of thin films of different refractive index materials deposited on metal or dielectric materials of a high or low .refractive index
Designs of anti-reflection coating depend upon many scientific theories so there are many ways of .forming these designs
The present study depends upon the analytical design method depending on the modified characteristic matrix theory. It tackles a theoretical study of designing antireflection coating of a single and double layer in the case of non-normal incidence of the light for S-polarization and P-polarization at the wavelength of the lasers [CO_2 laser , Nd-YAG laser , and He-Ne laser].The selection rules that give virtual zero reflection was derived for both S- and P-polarization. The effect of the ratio between the refractive index of high layer to refractive index of low layer on the reflectance was studied. The results showed that the increasing of this ratio causes a decrease of the reflectance for a wide range of visible wavelengths, whereas the decreasing of this ratio results in a decrease of the

reflectance of the infrared region. In addition, the effect of varying the thickness of the deposited layer by ٢٠٪ on the reflectance spectrum has been studied. It was found that the varying of the external layer is more effective on the reflectance spectrum than the varying of the internal layer. The increasing and decreasing of the external layer thickness causes a shift of the minimum values of the reflectance toward longer and shorter wavelengths .respectively

The effect of different parameters on the reflectance of designs; such as, incidence angles, refractive index, and the used wavelength was studied, as well as a comparison between the studied designs and other designs of different medium for a different .incidence angles

The calculations of this work have been done depending on a computer program called "Hookes" which was written using (Q-Basic) language to get .the reflectance curves of the demanded designs

The results of this study are found to be in agreement with results of some of the previous studies which have been done in the same field and subject.

الخـلاصـة
نتيجة لسقوط الموجة الكهرومغناطيسية على سطوح المواد العازلة أو المعدنية فإنها تفقد جزءاً من طاقتها بسبب ظاهرة الانعكاس للموجة الساقطة. تعتمد الكثير من الأنظمة البصرية في تصميمها على هذه الظاهرة، لذا تستعمل تقنية الأطلاء البصرية لتقليل الطاقة المفقودة. والأطلاء البصرية هي مجموعة من الأغشية الرقيقة لمواد ذات معاملات انكسار مختلفة مرسبة على مواد عازلة أو معدنية ذات معامل انكسار عالٍ أو واطئ. اعتمدت تصاميم الطلاء المضاد للانعكاس عدة نظريات علمية لذا فقد تعددت طرائق بناء هذه التصاميم. وبحثنا الحالي اعتمد طريقة التصميم التحليلية المعتمدة على نظرية المصفوفة المميزة المعدلة. تناول البحث دراسة نظرية لتصميم طلاء مضاد للانعكاس ذي طبقة مفردة وذي طبقتين ولحالة السقوط المائل للضوء ولنمطي الاستقطاب العمودي والموازي وعند الطول الموجي لليزر He-Ne ، وليزر CO_2 ، ولليزر Nd-YAG ، وتمت صياغة المعادلات الرياضية التي تمثل شرط الحصول على انعكاسية صفر لطلاء مضاد للانعكاس ذي طبقتين بسمك بصري يساوي ربع طول موجة التصميم ولنمطي الاستقطاب العمودي والموازي سوية وفي آن واحد. وقد تمت دراسة تأثير نسبة معامل انكسار الطبقة الخارجية إلى معامل انكسار الطبقة الداخلية حيث أظهرت النتائج إن زيادة هذه النسبة يؤدي إلى تقليل الانعكاسية ولمدى واسع من الأطوال الموجية عند منطقة الطيف المرئي أما انخفاضها فيؤدي إلى تقليل الانعكاسية عند منطقة الأشعة تحت الحمراء، بالإضافة إلى ذلك تمت دراسة تأثير التغير بسمك الطبقة المرسبة بنسبة (٢٠%) من سمك الطبقة عند التصميم في طيف الانعكاسية حيث تبين أن تأثير التغير بسمك الطبقة الخارجية في طيف الانعكاسية يكون اكبر من تأثير التغير بسمك الطبقة الداخلية حيث إن الزيادة والنقصان في سمك الطبقة الخارجية يزيح القيم الصغرى للانعكاسية باتجاه الأطوال الموجية الطويلة والقصيرة على التوالي. كما تمت دراسة الاعلومات المؤثرة على قيم الانعكاسية

للتصاميم كزوايا السقوط، ومعاملات الانكسار للمواد المرسبة، والأطوال الموجية المستعملة، كذلك أجريت مقارنة لهذه التصاميم مع تصاميم لأوساط مختلفة مع زوايا سقوط مختلفة. وقد وجد إن تصميم طلاء ذي طبقتين هو أكثر كفاءة بصرية من طلاء ذي طبقة مفردة في تقليل الانعكاسية.

أجريت حسابات هذا البحث بالاعتماد على برنامج حاسوبي يعرف لغرض الحصول على (Q-Basic) المكتوب بلغة "Hookes" باسم منحنيات الانعكاسية للتصاميم المطلوبة، أعطت هذه الدراسة نتائج مقاربة لنتائج الدراسات النظرية لعدد من البحوث السابقة.

قائمة المحتويات

الموضوع	التسلسل الصفحة
الخلاصة	I
قائمة المحتويات	III
قائمة الرموز	VII
الفصل الأول: المقدمة	

١ مقدمة عامة ١-١
الأطلاء ١-٢
٢ البصرية
الطلاء المضاد ١-٣
٣ للانعكاس
زوايا السقوط ١-٤
٧
معادلات فرنيل ١-٥
٨
معامل الانكسار ١-٦
٩
النظريات ١-٧
٩ وطرائق التصميم
الدراسات ١-٨
١١ السابقة
الهدف من ١-٩
١٥ البحث
الفصل الثاني: الجزء النظري
١٦ مقدمة ٢-١
١٦ الاستقطاب ٢-٢
الاستقطاب ٢-٢-١
١٧ بالانعكاس
زاوية بروستر ٢-٢-٢
١٨
التداخل في ٢-٣
١٩ الأغشية الرقيقة
معادلات ٢-٤
٢١ ماكسويل والموجات الكهرومغناطيسية المستوية
معادلات فرنيل ٢-٥
٢٥ للمواد العازلة

٢٦ S-استقطاب ٢-٥-١
٢٨ -Pاستقطاب ٢-٥-٢
معادلات فرنيل ٢-٦
٣١ للمواد المعدنية
إزاحة الطور ٢-٧
٣٢ نتيجة الانعكاس
المصفوفة ٢-٨
٣٥ المميزة لغشاء رقيق مفرد
المصفوفة ٢-٩
٣٨ المميزة لمتعدد الطبقات
العلاقة مابين ٢-١٠
٤٠ معاملي الانكسار الفعال والحقيقي
شروط الطلاء ٢-١١
٤٢ المضاد للانعكاس
الطلاء المضاد ٢-١١-١
٤٢ للانعكاس ذو الطبقة المفردة
الطلاء المضاد ٢-١١-٢
٤٦ للانعكاس ذو الطبقتين
الفصل الثالث:الحسابات والنتائج والمناقشة
الانعكاسية بدون ٣-١
٥١ طلاء
الانعكاسية عن ٣-١-١
٥١ سطوح العوازل
الانعكاسية عن ٣-١-٢
٥٣ سطوح المعادن
معامل الانكسار ٣-١-٣
٥٣ الفعال لأوساط مختلفة
الطلاء المضاد ٣-٢
٥٩ للانعكاس ذو الطبقة المفردة

السمك البصري ٣-٢-١
٥٩ يساوي ربع طول موجة
طيف الانعكاسية ٣-٢-١-١
٥٩ لمادة أساس ذات معامل انكسار واطئ
طيف الانعكاسية ٣-٢-١-٢
٦٣ لمادة أساس ذات معامل انكسار عالٍ
السمك البصري ٣-٢-٢
٦٦ يساوي نصف طول موجة
الطلاء المضاد ٣-٣
٧٢ للانعكاس ذو الطبقتين
السمك البصري ٣-٣-١
٧٢ يساوي ربع طول موجة
طيف الانعكاسية ٣-٣-١-١
٧٢ لمادة أساس ذات معامل انكسار عالٍ
طيف الانعكاسية ٣-٣-١-٢
٧٤ لمادة أساس ذات معامل انكسار واطئ
السمك البصري ٣-٣-٢
٧٩ لا يساوي ربع طول موجة
طيف الانعكاسية ٣-٣-٢-١
٧٩ لمادة أساس ذات معامل انكسار واطئ
طيف الانعكاسية ٣-٣-٢-٢
٨٦ لمادة أساس ذات معامل انكسار عالٍ
الفصل الرابع:الاستنتاجات والمقترحات المستقبلية
١٩٥الاستنتاجات ٤-١
المقترحات ٤-٢
٩٦ المستقبلية
٩٧ (A)الملحق
٩٨ المصادر
الخلاصة باللغة
A الإنكليزية

قائمة الرموز

الرمز	المعنى
	زاوية السقوط
	زاوية الانكسار
	معامل انكسار وسط السقوط
	معامل انكسار الطبقة الأولى
	معامل انكسار الطبقة الثانية
	معامل الانكسار العقدي
	الجزء الحقيقي لمعامل الانكسار العقدي
	معامل الانكسار الفعال
	معامل التوهين
	معامل انكسار المادة الأساس
	الطول الموجي للضوء
	طول موجة التصميم
	زاوية بروستر للانعكاس الخارجي

زاوية بروستر للانعكاس الداخلي

الزاوية الحرجة

زاوية السقوط الرئيسية

رتبة التداخل

السمك الهندسي للغشاء

شدة المجال الكهربائي

شدة المجال المغناطيسي

كثافة الفيض المغناطيسي

السماحية البصرية الداخلة

احد عناصر المصفوفة المميزة للأغشية الرقيقة، يمثل سعة المجال الكهربائي

الرمز	المعنى
احد عناصر المصفوفة المميزة للأغشية الرقيقة، يمثل سعة المجال المغناطيسي	
	كثافة شحنة الفراغ
	معامل التوصيلية الكهربائية

تيار الإزاحة

كثافة التيار الكهربائي

سمك الطور

سماحية الوسط

السماحية النسبية

سماحية الفراغ

نفاذية الوسط

النفاذية النسبية

نفاذية الفراغ

سرعة الضوء في الفراغ

سرعة الموجة الكهرومغناطيسية

التردد الزاوي للموجة الكهرومغناطيسية

وحدة المتجه

السماحية البصرية المميزة للوسط

الانعكاسية

معامل الانعكاس

المرافق المعقد لمعامل الانعكاس

النفاذية

معامل النفاذية

المرافق المعقد لمعامل النفاذية

نمط الاستقطاب الموازي

نمط الاستقطاب العمودي

الرمز	المعنى
	السعة الكهربائية
	سماحية وسط السقوط
	سعة المركبة المماسية للمجال الكهربائي
	عدد الطبقات

الفصـل الأول

المـقـدمــة

Introduction

١- ١ مـقدمـة عـامـة General Introduction

تعد ظاهرة انعكاس الموجة الكهرومغناطيسية عند سقوطها على حد فاصل بين وسطين مختلفين بخواصهما البصرية (Optical Properties) ذات أهمية كبيرة لكثير من التطبيقات العلمية. إن كمية الضوء المنعكس تعتمد على مجموعة من الخواص البصرية منها معامل انكسار الوسطين والطول الموجي للضوء الساقط والزاوية التي تسقط بها الموجة إضافة إلى نوعية مادة السطح (عازلة أو معدنية)[١,٢]. هذه الظاهرة البصرية تسبب خسائر كبيرة في كمية الطاقة النافذة لذا صممت الأطلاء المضادة للانعكاس (Anti- reflection Coating) وباستعمال تقنية الأغشية الرقيقة لتقليل الطاقة المفقودة.

تصنف تصاميم الطلاء المضاد للانعكاس حسب عدد الطبقات المرسبة على المادة الأساس فمنها مؤلف من طبقة واحدة (Single Layer) أو من طبقتين (Double Layer) أو متعدد الطبقات(Multi Layer)[٣, ٤] ومادة الطبقات إما أن تكون عازلة أو معدنية إذ ترسب هذه المواد على المادة الأساس (substrate) المطلوب طلاؤها. تعتمد هذه الأطلاء في تصميمها على عدة عوامل منها ما يخص الصفات البصرية لمادة الغشاء مثل السمك البصري (Optical Thickness)، ومعامل الانكسار(Refractive Index) للغشاء وأخرى خارجية كزاوية السقوط للأشعة، والطول الموجي (للتصميم المطلوب وكذلك نوعية المادة الأساس المرسب عليها الطلاء (عازلة أو معدنية)[٥].

تعد الأطلاء المضادة للانعكاس ذات أهمية كبيرة لكثير من الأجهزة البصرية التي تعمل ضمن مديات محددة من الطيف الكهرومغناطيسي وخاصةً منطقتي الطيف المرئي وتحت الحمراء [٦, ٧]، حيث استعملت أطلاء الأغشية الرقيقة الآن في كثير من التطبيقات العلمية من خلال الاستعمال الواسع لها في الأجهزة

البصريـة ومنها العدسـات في النظارات وآلات التصوير[٨] والمجسـات [٩](Solar Cells)والتلسكوبـات[٤]والخلايـا الشمسـية المستعملة في تحسس وضعية النجـوم والأقمـار الصناعية[١٠].

١-٢ الأطلاء البصـرية Optical Coatings

اكتسبت الأطلاء البصرية مكانة متميزة في ميادين العلوم والتكنولوجيا لغرض السيطرة على مدى واسع من الإشعاع إلى منطقة (X-Ray)الكهرومغناطيسـي من منطقة الأشعة السينيـة الأطلاء .(Far-Infrared Ray) الأشعة تحت الحمراء البعيدة لمواد (Thin Films) البصرية هي مجموعة من الأغشية الرقيقـة ذات معاملات انكسار مختلفة مرسبة على مادة أساس كأطلاء بصرية لغرض التحكم في مقدار الضوء الساقط عليها وهذه السطوح لها خصائص انعكاسية أو نفاذية (Optical Surfaces)البصرية (Optical Filters) محددة وهي تعمل على أساس أنها مرشحات بصرية وأنواعها[١١,١٢,١٣]:

*الأطـلاء ذات الانعكاسـية العاليـة (High-Reflectance Coatings)

*الأطـلاء ذات الانعكاسـية الجزئيـة (Partially Reflectance Coatings)

*مجزئـة حزمـة (Beam Splitter)

*الأطـلاء المضادة للانعكـاس (Anti-Reflection Coatings)

*مرشحات الحزمة الضيقـة (Narrow Band Pass Filters)

*مرشحات الحزمة الواسعـة (Wide Band Pass Filters)

٣-١ الطلاء المضاد للانعكاس Anti-Reflection Coating

تعـد الأطـلاء المضـادة للانعكـاس تطبيقـاً بسيطـاً وفي غايـة الأهميـة لمبـادئ التداخـل في الأغشيـة الرقيقـة حيث إن زيـادة الانعكاسيـة أو تقليلهـا يعتمد على مبدأ التداخـل البنـاء والاتلافي على التوالي (Constructive and Destructive Interference) ، فإذا كانت الأشعة المنعكسة من سطوح الأغشية الرقيقة بنفس الطور فإنها تتداخل تداخلاً بنـاءً وإذا كانت بأطوار مختلفة فإنها تتداخل تداخلاً إتلافياً. ولا تسبب هذه الأطلاء أي فناء للضوء، ما يحدث هنا

هو مجرد إعادة توزيع للطاقة الضوئية بحيث يكون النقص في الانعكاس مصحوباً بزيادة مناظرة في النفاذ[١]، تصنف الأطلاء المضادة للانعكاس اعتماداً على عدة عوامل منها:

أولاً: عدد الطبقات المرسبة

أ- طبقة مفردة (Single Layer)

ب- طبقتان (Double Layer)

ج_ متعدد الطبقات (Multi Layer)

والشكل (١-١) يوضح مخططاً لهذه الأنواع:-

شكل (١-١) يوضح طلاءً مضاداً للانعكاس متعدد الطبقات حيث (a) طبقة واحدة (b) طبقتان (c) معاملات الانكسار للطبقات[٤].

ثانياً: الأداء البصري (Optical Performance)

الأداء البصري هو الانعكاسية أو النفاذية أو الامتصاصية للغشاء البصري كدالة للطول الموجي أو التردد لذا فقد صنفت الأطلاء المضادة للانعكاس على وفق الأنواع الآتية:

أ-نوع V (V-type) تكون الانعكاسية فيه مساوية للصفر[١٤,٨]عند طول موجة التصميم (Design Wavelength)-٢ كما في الشكل(١a).

ب-نوع W(W-type) تكون الانعكاسية مساوية للصفر عند منطقتين من الطيف ، أما عند طول موجة التصميم فان للمنحني قيمة عظمى مساوية لانعكاسية المادة الأساس بدون طلاء[٥]الشكل(٢-١b).

ج- نوع U(U-type) تكون الانعكاسية مساوية للصفر على مدى محدد من الأطوال الموجية[٨]الشكل(٢-١c).
د- نوع U الموسعة(Extended U-type) تكون الانعكاسية مساوية للصفر لمنطقة واسعة من الأطوال الموجية [٨]الشكل(٢-١d).
هـ- نوع Π (type- Π) تكون قيمة الانعكاسية فيه مساوية للصفر عند طولين موجيين محددين أما عند الأطوال الموجية الأخرى فان قيمة الانعكاسية تزداد كما هو في الشكل(٢-١e).

ثالثاً: الأرضية الأساس Substrate
تعرف الأرضية الأساس (Substrate) بأنها المادة التي يتم ترسيب الأطلاء عليها والتي تكون إما مواد عازلة ذات معامل انكسار حقيقي (n) أو مواد معدنية ذات معامل انكسار حقيقي يحوي جزءاً خيالياً ناتج (N) عن معامل الامتصاص للموجة الساقطة عليها إضافة إلى القيمة الحقيقية لمعامل الانكسار. تصنف الأرضية الأساس حسب قيمة معامل الانكسار للمادة الأساس إلى نوعين:
أ- أرضية أساس ذات معامل انكسار واطئ (Low-Index Substrate) [١٥] في هذا النوع يرسب الطلاء على أرضية أساس، معامل انكسارها واطئ. هذه المواد تسمح بمرور أشعة الطيف المرئي وتحت الحمراء القريبة من الطيف الكهرومغناطيسي عند طول موجة (nglass=١.٥٢) BK-٧ مثل الزجاج نوع ٥٥٠nm.
ب_ أرضية أساس ذات معامل انكسار عالٍ (High –Index Substrate) في هذا النوع يرسب الطلاء على مادة أساس معامل انكسارها عالٍ وتسمح بمرور الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي ومن هذه المواد الجرمانيوم (nGe=٤) عند طول موجة ٢.٥ µm والسليكون (nSi=٣.٤٥) عند طول موجة ٣ µm.

١- ٤ زوايـا السقـوط Incident Angles

تعرف زاوية السقوط بأنها الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط على السطح الفاصل بين وسطين والعمود المقام على ذلك السطح، وتعد زوايا السقوط ذات تأثير كبير في تحديد طيف الانعكاسية للمادة العاكسة للموجة الساقطة وبصورة عامة تصنف هذه الزوايا إلى نوعين:

أ- زوايا السقوط العمودية والتي تحدد قيمها تقريباً من

ب- زوايا السقوط غير العمودية (المائلة)والتي تحدد قيمها تقريباً من

إن تصاميم الأطـلاء المضادة للانعكـاس لهذين النوعين من زوايا السقـوط تختلف اختلافاً كبيراً إذ تظهر تأثيرات ظاهـرة الاستقطاب للضوء السـاقط كلما تزداد قيمـة زاويـة السقـوط عن زوايـا السقـوط العمـودية حيث يكون الضـوء المنعكـس بنمطي استقطاب الأول يكون فيه اهتزاز متجه المجال الكهربائي عمودياً على مستوي السقوط يعرف بالاستقطـاب العمودي أو استقطاب S(S-Polarization) والثاني يكون فيه اهتزاز متجه المجال الكهربائي موازياً لمسـتوي السقوط يعرف بالاستقطاب الموازي أو استقطاب P(P-Polarization)[١٦] ، حيث يتم حساب الانعكاسية والنفاذية للنمطين على وفق معادلات فرنيل للانعكاسية بشكل منفصل لكل نمط. ولقد وجد عند زاوية سقوط محددة يكون الضوء المنعكس بينما تكون شدة S-مستقطباً كلياً وبنمط استقطاب واحد هو استقطاب مساوية للصفر، هذه الزاوية P-الضوء المنعكس بنمط استقطاب وتدعى أيضاً (زاوية بروستر Brewster's angle)) تعرف بزاوية الاستقطاب)[١٥,١٧]. بحثنا الحالي يتضمن تصاميـم للأطـلاء المضادة للانعكـاس للنوعين من زوايـا السقـوط للموجة الكهرومغناطيسية.

(b) (a)

الشكل (٣-١) الاستقطاب بالانعكاس والانكسار

a- استقطاب جزئي لضوء غير مستقطب

b- استقطاب تام للضوء بوساطة الانعكاس عند زاوية بروستر

١-٥ معادلات فرنيل Fresnel's Equations

عند سقوط موجة كهرومغناطيسية مستوية على سطح فاصل بين وسطين متجانسين (Homogenous) وموحدي الخواص (Isotropic) فان قسماً منها سوف ينعكس والآخر ينفذ. إن كمية الطاقة المنعكسة والنافذة تحددها معادلات فرنيل للضوء الساقط وهي مجموعة معادلات تصف التأثيرات التي تحصل للموجة الكهرومغناطيسية الساقطة حيث إنها تربط سعات الموجات المنعكسة والنافذة مع سعة الموجة الساقطة[٦] باعتماد زاوية السقوط والنفاذ. وتعتمد معادلات فرنيل على كل من طبيعة الوسطين، نمط الاستقطاب للموجة الساقطة، زاوية السقوط ومعامل الانكسار.

١-٦ معامل الانكسار Refractive Index

تختلف سرعة الموجة الكهرومغناطيسية باختلاف الأطوال الموجية في أي وسط مادي. وهذه الظاهرة البصرية تعرف بالتشتت (Dispersion)[١]. إن النسبة مابين سرعة الموجة في الفراغ إلى سرعتها في الوسط تعرف بمعامل الانكسار (Refractive Index) للوسط، وهو واحد من الصفات البصرية ذات الأهمية الكبيرة لأي وسط بصري. وبسبب هذه الظاهرة فإن معامل الانكسار يعتمد على الطول الموجي إذ يتناسب عكسياً مع مقدار قيمة الطول الموجي المستعمل ويمكن تفسير هذه الظاهرة في ضوء النظرية الكهرومغناطيسية حيث ينبغي أخذ التركيب الذري في الحسبان.

١-٧ النظريات وطرائق التصميم

Theories and Design Methods

لأهمية التصاميم الخاصة بالأطلاء المضادة للانعكاس فقد تعددت طرائق بناء هذه التصاميم. اعتمدت هذه الطرائق عدة نظريات علمية في بناء التصاميم المطلوبة ومنها:

* طرائق التصميم التحليلية (Analytical Design Methods)
* طرائق التصميم العددية المثلى (Numerical Optimization Design Methods)

بحثنا الحالي اعتمد طريقة التصميم التحليلية المعتمدة على نظرية المصفوفة المميزة المعدلة المعتمدة على معادلات فرنيل والمشتقة من معادلات ماكسويل للموجات الكهرومغناطيسية لتعيين الانعكاسية المطلوبة، والجدول (١-١)يمثل طرائق التصميم والنظريات المعتمدة في التصميم[١٨, ١٩, ٢٠].

الجدول (١-١)طرائق التصميم للطلاء المضاد للانعكاس

١-٨ الدراسات السابقة Literature Survey

عام ١٩٥٢من تصميم طلاء مضاد [٢١]Epsten تمكن الباحث للانعكاس متعدد الطبقات معتمداً بذلك نظرية الطبقة المكافئة ولحالة السقوط العمودي.

عام١٩٦١مفهوم معامل [٢٢] Baumeister كما اقترح الباحث الانكسار الفعال والسمك الفعال لتصميم طلاء مضاد للانعكاس متعدد الطبقات مرسب على الزجاج (ns=١.٥٢) ولحالة السقوط غير العمودي.

عام١٩٦٤من تصميم طلاء [٢٣] Turbador كما تمكن الباحث مضاد للانعكاس ذي طبقة مفردة لمادة الألمنيوم مرسبة على مادة أساس عازلة ولم يذكر طريقة التصميم المعتمدة.

وفي العام نفسه صمم الباحث[٢٤] Turbador طلاءً مضاداً للانعكاس متعدد الطبقات من مواد عازلة مرسبة على الزجاج (ns=١.٥٢) ولمدى الزوايا (٠-٧٠) والسمك البصري المتعدد ( ) نوع، وقد اعتمد في التصميم المعادلات الضمنية بدلاً من المصفوفة المميزة.

عام ١٩٧١ من تصميم مرايا ذات [٢٥] Minkov كما تمكن الباحث انعكاسية عالية بالاعتماد على نظرية المرايا العازلة المتعددة الطبقات وبسمك ربع طول موجي ولحالة السقوط غير العمودي، حيث تمكن من تقليل انعكاسية إحدى أنماط الاستقطاب بزيادة انعكاسية النمط الثاني واعتمد في الاشتقاق العلاقات الرياضية الجبرية.

طلاءً مضاداً للانعكاس [٢٦] Moys وفي عام ١٩٧٤ صمم الباحث ذا طبقتين ولحالة السقوط العمودي للضوء معتمداً في التصميم نظرية المصفوفة المميزة.

[وفي عام١٩٨١ صمم الباحثان[٢٧ Nagendra and Thutupalli طلاءً مضاداً للانعكاس ذا طبقتين لمواد (BiF_3, BaF_2, ZnS) بسمك بصري لا يساوي ربع طول موجي مرسبة معتمدين على الجرمانيوم (ns=٤.٤) عند الطول الموجي ١٥ µm في تصميمهما على نظرية المصفوفة المميزة ولحالة السقوط العمودي.

[أما الباحث[٢٨ Azzam فقد تمكن عام ١٩٨٥ من اشتقاق معادلات ضمنية لحساب معامل الانكسار لطبقة مفردة لغشاء شفاف مرسبة على مادة أساس ذات امتصاصية عالية عند زاوية سقوط محددة ولنمطي الاستقطاب S, P.

عام١٩٨٩ طلاءً مضاداً للانعكاس [Monga[كما صمم الباحث [٢٩ معتمداً فكرة نظرية الطبقة المكافئة لترتيب متناظر مكون من ثلاث طبقات ولنمط الاستقطاب P٧٩عند زاوية السقوط ٥° .

عام ١٩٩٠ بتصميم طلاء Stulz[و [٣٠Stone كما قام الباحثان مضاد للانعكاس ذي طبقتين وعند طول موجة (١.٥ وبسمك بصري لا يساوي ربع طول موجة معتمدين في التصميم نظرية المصفوفة المميزة، حيث تمكنا من الحصول على انعكاسية اقل بنسبة ٠.٢.%

طلاءً مضاداً للانعكاس [Monga[وفي عام١٩٩٢ صمم الباحث [٣١ مكوناً من طبقتين لمواد عازلة سمكها البصري لا يساوي ربع طول

عند زاوية السقوط ٧٠°، وقد اعتمد S, P موجي ولنمطي الاستقطاب في التصميم نظرية المصفوفة المميزة.

طلاءً مضاداً للانعكاس [٣٢] Gilo وفي العام نفسه صمم الباحث مجزئاً حزمة داخل مكعب زجاجي وبسمك يساوي ربع طول موجة، وقد اعتمد في التصميم فكرة المنحني الخاص بمعامل الانكسار المؤثر لمجموعة مواد مختلفة.

في العام نفسه [٣٣] Dobrowlski and LiLiكما اعتمد الباحثان إحدى الطرائق العددية(طريقة التهذيب) في تصميم طلاء مضاد للانعكاس متعدد الطبقات.

طريقة التحليل [٣٤] Rancourt وفي عام ١٩٩٤ استعمل الباحث العددية لتصميم طلاء مضاد للانعكاس متعدد الطبقات معتمداً طريقة التهذيب في تصميمه ولحالة السقوط العمودي.

عام١٩٩٥ طلاءً مضاداً للانعكاس Cole[كما صمم الباحث [٣٥ متعدد الطبقات، حيث اعتمد في تصاميمه طريقة التهذيب والتوليف العددية، وقد استعملت هذه التصاميم للأجهزة البصرية المستعملة في الطيران الفضائي.

عام ١٩٩٦ من تصميم طلاء Rasheed[كما تمكنت الباحثة [١١ مضاد للانعكاس ذي طبقتين لمواد أساس ذات معامل انكسار عالٍ وواطىء بسمك بصري يساوي ربع طول موجي، وكذلك لمواد أساس ذات معامل انكسار واطىء بسمك بصري لايساوي ربع طول موجي. كما صممت أيضاً طلاءً مضاداً للانعكاس ذا ثلاث طبقات سمكها البصري ( ). وقد اعتمدت في التصميم على نظرية المصفوفة المميزة المعدلة ولحالة السقوط العمودي.

عام ٢٠٠٠ بدراسة وتصميم طلاء مضاد [٣٦] Ali وقامت الباحثة لانعكاس حزمة الضوء المرئي بطبقة واحدة وبطبقتين ولحالة السقوط غير العمودي للضوء.

بتصميم طلاء مضاد [٣٧] Kadhimوفي عام ٢٠٠١ قام الباحث ولنمطي الاستقطاب سويةً Pأو S للانعكاس لنمط استقطاب محدد باعتماد نظرية المصفوفة المميزة وباستعمال فكرة السماحية البصرية المعدلة.

وجماعته[٣٨]في العام نفسه تصميم طلاء Zhong وقدم الباحث مضاد للانعكاس متعدد الطبقات استعمل في منظومة ليزر باعتماد الطرائق التحليلية وباستعمال نظرية المصفوفة المميزة وبإدخال مفهوم معامل الانكسار المؤثر.

وجماعته[٣٩] عام٢٠٠٣ طلاءً مضاداً Buie كما صمم الباحث للانعكاس من الأغشية الرقيقة لمادتي أوكسيد السليكون ونتريد السليكون لتقليل خسائر انعكاسية الطاقة الشمسية الساقطة على خلية شمسية سليكونية ولحالتي السقوط العمودي وغير (silicon photovoltaic cells) العمودي معتمدين في التصميم على نظرية المصفوفة المميزة.

وفي عام٢٠٠٥ صمم الباحث [٤٠] Willey مجموعة تصاميم لأطلاء مضادة للانعكاس متعددة الطبقات ولنمطي الاستقطاب S, P ، وقد اعتمد في تصاميمه الطرائق العددية المعروفة.

٩-١ الهدف من البحث The Aim of the Research

يهدف البحث وبالاعتماد على نظرية المصفوفة المميزة المعدلة إلى تصميم طلاء مضاد للانعكاس ذي طبقة مفردة وذي طبقتين كأغشية رقيقة من مواد ذات معاملات انكسار محددة ومرسبة على مواد أساس ذات معامل انكسار عالٍ أو واطئ وعند زوايا سقوط مائلة، كما يهدف هذا البحث إلى دراسة العوامل البصرية المؤثرة على الأداء البصري لهذه التصاميم. حيث شملت الدراسة حالة الانعكاس الخارجي للموجة أي عند سقوط الموجة من وسط ذي كثافة بصرية قليلة إلى وسط ذي كثافة بصرية عالية، وكذلك تمت دراسة تغير قيم معامل الانكسار المؤثر لأوساط مختلفة مع زوايا السقوط.

الفصل الثاني
الجزء النظري
Theoretical Part

Introduction مقدمة ٢-١

يتناول هذا الفصل دراسة ظاهرة الاستقطاب للموجة الكهرومغناطيسية وطرائق توليد الضوء المستقطب وأنماط استقطابه، كذلك يتضمن اشتقاق صيغة المصفوفة المميزة التي تصف العلاقة ما بين المجالين الكهربائي والمغناطيسي للموجة الساقطة على الغشاء الرقيق معتمدين بذلك على معادلات فرنيل والمعتمدة على معادلات ماكسويل للأمواج الكهرومغناطيسية، إضافة إلى ذلك فقد تم تحديد شروط الطلاء المضاد للانعكاس لطبقة مفردة وطبقتين ودراسة فرق الطور نتيجة الانعكاس.

Polarization الاستقطاب٢-٢

أثبتت النظرية الكهرومغناطيسية أن الضوء حركة موجية مستعرضة تنتشر نتيجة تغيرات دورية لمجالين أحدهما كهربائي والثاني مغناطيسي، يتذبذب كل منهما في اتجاه عمودي على الآخر وعلى اتجاه انتشار الموجة ويتغير كل من متجه المجال الكهربائي ومتجه المجال المغناطيسي المصاحب له جيبياً مع الزمن بطور واحد، فإذا كان اتجاه المجال الكهربائي أو تذبذبه مقتصراً على اتجاه واحد أو مستوي واحد، قيل عن الضوء الناشئ بأنه استوائي الاستقطاب أو خطي الاستقطاب، إذ إن الاستقطاب هو عملية يتحدد فيها الشكل الذي يتذبذب فيه المتجه، وأنواعه هي[١, ٦]:

أ. الاستقطاب الخطي (Linear Polarization)

ب. الاستقطاب الدائري (Circular Polarization)

ج. الاستقطاب الاهليليجي (Elliptical Polarization)

هناك عدة وسائل وطرائق يمكن من خلالها الحصول على ضوء مستقطب من ضوء غير مستقطب، ومن الطرائق الشائعة والمستعملة في توليد الضوء المستقطب هي:

١. الاستقطاب بالانعكاس.

.الاستقطاب بوساطة مجموعة من الشرائح .٢
.الاستقطاب بالبلورات ثنائية اللون .٣
.الاستقطاب بالانكسار المزدوج .٤
.الاستقطاب بالاستطارة .٥
وسنتناول في هذه الدراسة طريقة الاستقطاب بالانعكاس لارتباط هذه الظاهرة بالدراسة الحالية.

٢-٢-١ الاستقطاب بالانعكاس Polarization by Reflection
عام١٨٠٨ أنه يمكن الحصول على ضوء Malus اكتشف العالم مستقطب جزئياً (Partially Polarized Light) أوكلياً (Totally Polarized Light) باعتماد ظاهرة الانعكاس من سطوح المواد المختلفة، فعند سقوط حزمة موجة كهرومغناطيسية غير مستقطبة(استقطاب عشوائي) على سطح مادة عازلة وبزاوية مائلة سوف تنعكس هذه الموجة بنمطي استقطاب هما الاستقطاب العمودي والاستقطاب الموازي، ويمكن أن يكون هذا الاستقطاب كلياً وبنوع واحد من أنماط الاستقطاب وذلك عندما تسقط الحزمة بزاوية الاستقطاب(زاوية بروستر)[٦,١٥].

٢-٢-٢ زاوية بروستر Brewster's Angle
تعرف زاوية بروستر بأنها زاوية السقوط التي عندها تكون الموجة المنعكسة مستقطبة كلياً وبنمط استقطاب عمودي، ويحدث ذلك عندما تكون الحزمتان النافذة والمنعكسة متعامدتين[٤١, ٤٢].

ومن خلال قانون سنيل:

من المعادلتين (١-٢) و(٢-٢) نحصل على:

بقسمة المعادلة(٣-٢) على( )نحصل على:

المعادلة(٥-٢) تمثل الصيغة الرياضية لقانون بروستر ولحالة الانعكاس الخارجي ( ) والذي (Brewster's Law) بموجبه يمكن تحديد قيمة زاوية بروستر لأي وسط، أما في حالة الانعكاس الداخلي( )فإن صيغة هذا القانون تكون بالشكل الآتي[١٥]:

التداخل في الأغشية الرقيقة ٢-٣
Interference of Light through Thin Films

تحدث ظاهرة التداخل للموجات بصفة عامة عندما تتلاقى الموجات الصادرة من مصادر مختلفة في منطقة ما، وهي من الخصائص العامة للموجات وتعتمد على مبدأ عام بالنسبة للموجات وهو مبدأ تراكب الموجات (Principle of Superposition) ، أو الاضطرابات بصفة عامة والذي ينص على أن محصلة الاضطراب عند نقطة هي مجموع الاضطرابات الناتجة عن الموجات المتلاقية. وبما أن الضوء هو موجات كهرومغناطيسية لذلك فهو يخضع لمبدأ التراكب، فعندما تمر أو تتلاقى موجتان ضوئيتان أو أكثر بنقطة ما فإن المجالات الكهربائية لهذه الموجات تتراكب أو تتحد طبقاً لمبدأ التراكب مكونة المجال المحصل، ولذلك فإن شدة الضوء الناتج سوف تتغير إما زيادةً أو نقصاناً نتيجة لهذه الظاهرة ويعرف التداخل بالتداخل البناء أو الإتلافي[١٥, ٤٣, ٤٤].

ويتألف الغشاء الرقيق من سطحين علوي وسفلي وتحدث ظاهرة التداخل بالأغشية الرقيقة نتيجة للانعكاسات المتعددة التي تحدث خلال هذين السطحين، فإذا كان هناك فرق طور بين الأشعة

المنعكسة فإن التداخل بين هذه الأشعة سوف يكون تداخلاً هداماً إذا تحقق الشرط[١].

(m =حيث (..... ١, ٢,٣
d١ سمك الغشاء.
n١ معامل انكسار الغشاء.
الطول الموجي للضوء الساقط.
m رتبة التداخل.
زاوية انكسار الشعاع.
وعندما تكون الأشعة المنعكسة من سطح الغشاء بنفس الطور فإنها تتداخل تداخلاً بناءً إذا تحقق الشرط

d١ والشكل (١-٢) يوضح التداخل في غشاء رقيق سمكه الهندسي ويسقط الضوء بزاوية من وسط معامل n١ ومعامل انكساره انكساره .

، معامل d١الشكل(١-٢) التداخل في غشاء رقيق سمكه الهندسي (n١)[انكساره[١

معادلات ماكسويل والموجات الكهرومغناطيسية المستوية٢-٤
Maxwell’s Equations and Plane Electromagnetic Waves

هي معادلات تربط وتصف المجالات الكهربائية والمغناطيسية للموجة الكهرومغناطيسية، وسنعتمد على حل معادلات ماكسويل التابعة لوسط متجانس متماثل الخواص لدراسة تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة كالآتي[١٧]:

ويمكن إضافة المعادلات الآتية إلى المعادلات السابقة:

حيث إن:
(Permittivity of Free Space) تمثل سماحية الفراغ

(Permeability of Free Space) تمثل نفاذية الفراغ

سرعة الضوء في الفراغ c
بحل المعادلات أعلاه للمجال الكهربائي نحصل على:

للمجال المغناطيسي فإن معادلة الموجة تكون مماثلة للمعادلات أعلاه.
بحل المعادلة(٢٠-٢) وكتابتها بصيغة دالة أسيـة عقدية نحصل على[١٥]:

، (X-axis) التي تمثل موجة منتشرة على طول المحور السيني
، (Angular Frequency) w بسرعة وسعتها وترددها الزاوي
ولكي تكون المعادلة(٢١-٢) حلاً للمعادلة (٢٠-٢)يجب أن يتحقق ما يلي:

لذا v=c, تكون (vaccum) في الفراغ الخالي من الشحنات
فإن المعادلة(٢٢-٢) ستصبح:

وهي مماثلة للمعادلة(١٩-٢)، بضرب المعادلة (٢٢-٢)
بالمعادلة(١٩-٢) وقسمة الناتج على نحصل على:

حيث إن:
N [تمثل معامل الانكسار المعقد [١٧
(Complex Refractive Index)
n تمثل معامل الانكسار الحقيقي (Real Refractive Index)
k تمثل معامل التوهين (Extinction Coefficient)
من المعادلة (٢٤-٢) نحصل على:

المعادلة (٢١-٢) يمكن كتابتها على النحو الآتي:

حيث إن
تمثل المعادلة (٢٨-٢) موجة مستقطبة خطياً تنتقل على امتداد محور
السينات، ويعبر عن معادلة الموجة بالشكل الآتي:

، (Direction Coefficient) حيث إن هي معاملات الاتجاه
u (unit vector) ويعبر عن اتجاه انتشار الموجه بوحدة المتجه

على التوالي x,y,z إن هي وحدة المتجهات على امتداد المحاور
(ومن المعادلة(٢٩-٢

(ومن المعادلات (١٥-٢)و (١٤-٢)و (١٠-٢

(Vector Product) تمثل علامة الضرب الاتجاهي X حيث

لذا فإن

أي بمعنى

(Characteristic) [تعرف بالسماحية البصرية المميزة للوسط[٥
y ويعبر عنها بالحرف (Optical Admittance

معادلات فرنيل للمواد العازلة ٢-٥
for Dielectric Materials Fresnel's Equations
تعد معادلات ماكسويل للأمواج الكهرومغناطيسية والمعتمدة على النظرية الكهرومغناطيسية للضوء الأساس العلمي المعتمد في صياغة معادلات فرنيل والتي تتحدد بموجبها كمية الضوء المنعكس والنافذ من سطح مادة عازلة أو معدن[٦, ١٥]. توضح هذه المعادلات العلاقة مابين سعة الموجة النافذة والمنعكسة إلى سعة الموجة الساقطة بزاوية سقوط معينة.
والشكل (٢-٢)يوضح الاتجاهات الموجية للمتجهين الكهربائي والمغناطيسي ولنمطي الاستقطاب S, P.

(a) (b)

الشكل(٢-٢) الاتجاهات الموجية للمتجهين الكهربائي
[والمغناطيسي[٦
S-استقطاب (a)
P-استقطاب (b)

–TE S Mode-استقطاب ١-٢-٥
تكون سعات المركبات الكهربائية الموازية للحد الفاصل [٤٥ ,٦]
والتي تحقق الشروط الحدودية

ومركبات المجال المغناطيسي الموازية للحد الفاصل

حيث إن

وحيث إن: فإن المعادلة(٣٥-٢) ستصبح

والمعادلة(٣٧-٢) يمكن كتابتها بالشكل:

وبالمقارنة مع المعادلة(٣٤-٢) نحصل على معامل الانعكاسية
والتي تمثل النسبة مابين سعة المجال الكهربائي للموجة المنعكسة
إلى سعة المجال الكهربائي للموجة الساقطة

كذلك يمكن إيجاد معامل النفاذية الذي يمثل النسبة ما بين سعة
المجال الكهربائي للموجة النافذة إلى سعة المجال الكهربائي للموجة
الساقطة

وحيث إن تصبح هذه المعادلات:

وتعطى الانعكاسية بالعلاقة:

والنفاذية

حيث إن المرافق العقدي لمعاملي الانعكاسية والنفاذية على التوالي. بتعويض المعادلة(٢-٤١)في(٢-٤٣) والمعادلة(٢-٤٢)في(٢-٤٤) نحصل على:

٢-٥-استقطاب P-TM-Mode

تكون سعات المركبات الكهربائية الموازية للحد الفاصل والتي تحقق الشروط الحدودية[٦]:

ومركبات المجال المغناطيسي الموازية للحد الفاصل

وحيث إن فإن المعادلة(٢-٤٨) يمكن كتابتها بالشكل الآتي:

عندما: فإن معامل الانعكاسية يمكن إيجاده بالمعادلة

ومعامل النفاذية:

وللأوساط العازلة فإن المعادلتين الأخيرتين ستصبحان:

وتعطى الانعكاسية

والنفاذية

المعادلات (٢-٥٣), (٢-٥٢), (٢-٤٢), (٢-٤١) تمثل معادلات فرنيل لمعاملات الانعكاسية والنفاذية لنمطي الاستقطاب P, S على التوالي.

وتكتب معادلات فرنيل بصيغ رياضية مختلفة منها:
أ- معادلات فرنيل بدلالة زاوية السقوط ومعاملي الانكسار[٤٦, ٤٧, ٤٨]
يعطى معامل الانعكاسية

ومعامل النفاذية

ب- معادلات فرنيل بدلالة زاويتي السقوط والانكسار[٤٩, ٥٠]
يكتب معامل الانعكاسية

ومعامل النفاذية

٢-٦ معادلات فرنيل للمواد المعدنية
Fresnal's Equations for Metallic Materials

ينعكس الضوء المستقطب من سطح المعدن بنفس طريقة انعكاسه P-من سطح العازل، والفرق هو انعكاسية نمط الاستقطاب بالنسبة للمعدن تكون أقل ما يمكن عند زاوية معينة تعرف بزاوية السقوط الرئيسة (Principal Angle of Incidence) [١,٤٥] وهي مناظرة لزاوية بروستر في العازل، إضافة إلى أن انعكاسية المواد المعدنية للموجة الساقطة عليها أعلى بكثير من الانعكاسية للمواد العازلة، وبسبب الامتصاصية العالية للمعدن لذلك يعبر عن معامل الانكسار للمعدن بجزء خيالي كما هو في العلاقة الآتية:

حيث إن:
N معامل الانكسار للمعدن
الجزء الحقيقي لمعامل انكسار المعدن
الجزء الخيالي لمعامل انكسار المعدن
ويمكن كتابة المعادلة أعلاه بالشكل الآتي[٥١]:

حيث إن:
Nالجزء الحقيقي لمعامل الانكسار
Nالجزء الخيالي لمعامل الانكسار i
S-ومعامل الانعكاس لنمط الاستقطاب

بتعويض المعادلة(٢-٦٧) في المعادلة(٢-٦٨) وبإجراء التبسيطات الرياضية نحصل على:

P-ومعامل الانعكاسية لنمط الاستقطاب

وبتعويض المعادلة(٢-٦٧) في المعادلة(٢-٧٠) وبإجراء التبسيطات الرياضية نحصل على:

تمثل المعادلتان(٢-٦٩)و(٢-٧١) معادلات فرنيل للانعكاسية من معدن ولنمطي الاستقطاب P, S على التوالي.

أما انعكاسية المعدن لحالة السقوط العمودي فتكون كالآتي:

إزاحة الطور نتيجة الانعكاس٢-٧
Shift on Reflection Phase
تعاني الموجة الكهرومغناطيسية نتيجة لظاهرة الانعكاس تغيرات في الطور بسبب اختلاف معاملات الانكسار لكل من وسطي السقوط والنفاذ، فعندما تسقط الموجة من وسط معامل انكساره قليل مثل الهواء إلى وسط معامل انكساره أكبر مثل الزجاج فإنها تعاني انقلاباً في الطور، أما إذا كان سقوطها من وسط معامل انكساره عالٍ إلى وسط معامل انكساره أقل فسوف لا يحدث أي تغير بالطور إذ يعتمد التغير بالطور على نوع الانعكاس إذا كان انعكاساً خارجياً (External Reflection) أو انعكاساً داخلياً (Internal Reflection) [١,٥٢].
أ- الانعكاس الخارجي
عندما يكون معامل الانكسار لوسط السقوط أقل من معامل الانكسار لوسط النفاذ يحدث تغير في الطور للموجة المنعكسة ذات الاستقطاب العمودي(S-Polarization) مقداره لجميع زوايا السقوط كما هو موضح في الشكل(٣-٢a)

أما لنمط الاستقطاب الموازي (P-Polarization) فإن فرق الطور يكون مساوياً للصفر للزوايا ثم تزداد فجأة من الصفر إلى عند زاوية بروستر كما هو في الشكل (٣-٢b)

ب- الانعكاس الداخلي
عندما يكون معامل الانكسار كما هو موضح في الشكل((٣-٢c لوسط السقوط أكبر من معامل الانكسار لوسط النفاذ فإن فرق الطور

للموجة المنعكسة ذات الاستقطاب العمودي يكون مساوياً للصفر
:[للزوايا أما للزوايا فإن فرق الطور يكون[١

فإن فرق dكما هي موضحة في الشكل((٣-٢ P-أما لنمط الاستقطاب
الطور يساوي للزوايا ومساوياً للصفر للزوايا أما الزوايا فان
:فرق الطور يكون

حيث إن: زاوية السقوط، زاوية بروستر، الزاوية الحرجة

المصفوفة المميزة لغشاء رقيق مفرد٢-٨
The Characteristic Matrix of Single Thin Film

يعد الغشاء الرقيق المفرد المكون من حدين فاصلين توسيعاً لحالة الحد الفاصل، كما هو موضح في الشكل(٤-٢).

الشكل(٤-٢) يوضح موجة مستوية ساقطة على غشاء رقيق

، يعاني انعكاساً، والجزء النافذ (a) فالضوء الساقط عند الحد الفاصل ، وجزء ينفذ. نرمز لاتجاه (b)ينعكس جزءٌ منه عند الحد الفاصل .(-)الموجات الساقطة بالرمز(+)، واتجاه الموجات المنعكسة بالرمز تكون المركبات المماسية للمجالين الكهربائي والمغناطيسي عند الحدين الفاصلين a,b وبإهمال معاملات الطور كالآتي:-

تمثل محصلة المركبات المماسية للمجالين الكهربائي والمغناطيسي Hb, Eb.

إن المجالات عند الحد الفاصل a مشابهة للمجالات عند الحد b بالنسبة للموجات الساقطة و( ) مضروباً بعامل الطور قدره ( ) للموجات المنعكسة.
حيث إن

فتكون المحصلة عند الحدود على نحو ما يأتي:

تكتب المعادلتان(٢-٨٠)، (٢-٨١) بصيغة مصفوفة:

تربط المعادلة(٢-٨٢) بين المركبات المماسية المستمرة لكل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي الساقطة على المنظومة والخارجة منها.
تعرف المصفوفة الثنائية في الطرف الأيمن من المعادلة(٢-٨٢) بالمصفوفة المميزة (Characteristic Matrix)
[١٥, ٥٣].
ومن معرفة السماحية البصرية الداخلة (Input Optical Admittance) التي تعطى بالكمية.

على نحو ما (R) والانعكاسية (r) يمكن تحديد معامل الانعكاس يأتي[٥٣, ٣٢]:-

يمكن إعادة كتابة المعادلة(٢-٨٢) كالآتي:-

تأخذ الصيغة Y ومن الواضح أن السماحية:

حيث Y=C/B

المصفوفة المميزة لمتعدد الطبقات ٢-٩
Characteristic Matrix of Multilayer Coating
إن المصفوفة المميزة في المعادلة (٢-٨٢)، تربط المجالات عند الحد (a) مع المجالات عند الحد (b)، وهذا يعني أنه إذا رسب غشاء

كما هو موضح في c, b, a رقيق آخر، فسيكون هنالك ثلاثة حدود .(الشكل(٥-٢

-:لذلك

تمثل سمك الطور للطبقة الأولى حيث
تمثل سمك الطور للطبقة الثانية
وتربط المجالات الداخلة إلى الغشاء الأول مع المجالات الخارجة من
(القاعدة كالآتي:- .... (٨٨-٢
ونستطيع كتابة المعادلة أعلاه بالطريقة[٥٤] -:
(٨٩-٢) ....
بصورة عامة يرتبط عدد من الطبقات مع بعضها بالطريقة [٥٥]
نفسها

وبالتعبير عن

وبتعويضها في المعادلة(٢-٩٠) وإجراء التبسيطات الرياضية فان
المعادلة الأخيرة تعرف .[١١]المميزة المعدلة بالمصفوفة

العلاقة مابين معاملي الانكسار الفعال والحقيقي ١٠-٢
Relation between the Effective and Real Refractive Indices

S,P يمكن الربط بين معاملي الانكسار الفعال لنمطي الاستقطاب من خلال المعادلات (i)وبدلالة معامل الانكسار الحقيقي للوسط الآتية[٣٢]:

-يعطى معامل الانكسار الفعال لنمط الاستقطاب P بالمعادلة الآتية:

Sub =١, ٢, ٣,....., ١, ٢, ٣

حيث تمثل أي وسط في المنظومة (السقوط، الغشاء الرقيق، المادة الأساس)

معامل الانكسار الحقيقي

-أما معامل الانكسار الفعال لنمط الاستقطاب S فيعطى بالمعادلة الآتية:

من المعادلة(٩١-٢) يمكن كتابة

بتعويض المعادلة(٩٣-٢) في المعادلة(٩٢-٢)نحصل على

إذن حاصل ضرب معاملي الانكسار الفعال يكون مساوياً لمربع معامل الانكسار الحقيقي.

أما العلاقة مابين معاملي الانكسار الفعال وبدلالة زاوية السقوط فيمكن إيجادها على نحو ما يأتي:

من المعادلة(٩١-٢)

بتعويضها في المعادلة(٩٢-٢) نحصل على:

شروط الطلاء المضاد للانعكاس ٢-١١
Anti-Reflection Coating Conditions
الطلاء المضاد للانعكاس ذو الطبقة المفردة ٢-١١-١
تعطى الانعكاسية لطلاء مضاد للانعكاس ذي طبقة مفردة لحالة السقوط المائل للضوء ولنمطي الاستقطاب S, P الآتية بالمصفوفة:

حيث معامل الانكسار الفعال لكل من المادة الأساس، وسط السقوط والغشاء على التوالي.

السمك البصري الفعال (Effective Optical Thickness)
وبإجراء التبسيطات الرياضية نحصل على انعكاسية الطبقة المفردة لحالة السقوط المائل للضوء ولنمطي الاستقطاب S,P [٥٦].

عندما يكون السمك البصري ربع طول موجة فان الانعكاسية تصبح

أما عندما يكون السمك البصري لا يساوي ربع طول موجة فان الانعكاسية تكون:

أي إن الطبقة تتصرف تصرف الطبقة الغائبة
وتكون شروط الحصول على انعكاسية صفرية لطلاء مضاد للانعكاس ذي طبقة مفردة عندما يكون السمك البصري الفعال ربع طول موجة كالآتي[٣٦]:
الشرط الأول هو اختيار معامل الانكسار الفعال
من المعادلة(٢-٩٩) تكون الانعكاسية صفراً عندما[٥٧]

الشرط الثاني هو اختيار معامل الانكسار الحقيقي للمادة المرسبة ولنمطي الاستقطاب S,P

١. استقطاب-S

تعطى معاملات الانكسار الفعالة بالمعادلات S-لنمط الاستقطاب الآتية:

بتعويض المعادلات(٢-١٠٢) في المعادلة(٢-١٠١)نحصل على:

بالاستفادة من قانون سنيل يمكن الحصول على:

بتعويض المعادلتين (٢-١٠٤)، (٢-١٠٥) في معادلة(٢-١٠٣)وبعد التربيع نحصل على:

Let

P-استقطاب .٢
تعطى معاملات الانكسار الفعالة بالمعادلات P-لنمط الاستقطاب الآتية[٥٦]:

بتعويض هذه المعادلات في المعادلة(٢-١٠٣)نحصل على:

بتعويض المعادلتين (٢-١٠٤)،(٢-١٠٥) في المعادلة(٢-١١٢) وبتربيعها نحصل على:

تصبح المعادلة بالشكل الآتي u بتعويض قيمة:

من المعادلة (٢-١٠٩)

:عندما نحل هذه المعادلة بطريقة الدستور نحصل على

توضح المعادلتان(٢-١١٠)و(٢-١١٦) شرطي الحصول على
انعكاسية صفرية لطلاء مضاد للانعكاس ذي طبقة مفردة على أساس
اختيار معاملات الانكسار الحقيقية للمواد المرسبة ولنمطي
S, Pالاستقطاب
الشرط الآخر للحصول على انعكاسية صفرية هو اختيار زاوية
S,P السقوط ولنمطي الاستقطاب
S-استقطاب .١
:بالاستفادة من قانون سنيل

,
وبتعويض معادلات (٢-١٠٢)في المعادلة(٢-١٠١) يكون الشرط
:كالآتي S-بالنسبة للاستقطاب

P-استقطاب .٢
فبتعويض المعادلتين(٢-١١١)و(٢-١١٧) P-أما بالنسبة للاستقطاب
:في المعادلة(٢-١٠١) يكون الشرط

Where
الطلاء المضاد للانعكاس ذو الطبقتين ٢-١١-٢
أ- السمك البصري لا يساوي ربع طول موجة
تعطى الانعكاسية لطلاء مضاد للانعكاس ذي طبقتين لحالة السقوط
بالمصفوفة المميزة S, Pالمائل للضوء ولنمطي الاستقطاب

والتي تصبح بالشكل

الشرط الأول هو تحديد سمك الطور لكل طبقة مرسبة على مادة أساس ذات معامل انكسار عالٍ أو واطئ.
تكون الانعكاسية مساويةً للصفر عندما تكون السماحية البصرية مساوية لمعامل الانكسار الفعال لوسط السقوط أي إن[٣١]:

وبمساواة الجزء الحقيقي والخيالي بشكل منفصل فإن

بمعنى

وبذلك فإن سمك الطور للطبقتين يتحدد بالمعادلتين:

هاتان المعادلتان مماثلتان للمعادلات التي حصل عليها Catala'n[[٥٦] الذي اعتمد في التصميم نظرية المصفوفة المميزة بعد إبدالها بترتيب من المعادلات الجبرية.
الشرط الثاني هو اختيار معامل الانكسار للمواد المرسبة، من المعادلتين(٢-١٢٢)و(٢-١٢٣) يمكن تحديد معامل الانكسار الفعال و الذي يحقق شرط الحصول على انعكاسية مقدارها صفر من خلال استعمال مخططات شوستر[٥٨] كما في الشكل(٢-٦). تعطي حلول هاتين المعادلتين أربع قيم للسمك البصري للطبقتين، هذه القيم يجب أن تكون حقيقية وهذا يتطلب أن تكون إشارة هاتين المعادلتين على وفق الجدول (٢-١).

Mode of Polarization

- - -

or

+ + + - + + +

or

- - + +

P-polarization

+ + +

or

- - + + + + +

or

- - + +

S-polarization

تم جمعها في (c)، (b)، (a)الشكل(٦-٢) مخطط شوستر، الأشكال وان المساحة المظللة في هذا الشكل تمثل (d) شكل واحد بالشكل .[الحل الحقيقي للمعادلتين[٥٨

ب- السمك البصري يساوي ربع طول موجة

عندما يكون السمك البصري الفعال لكل طبقة هو ربع طول موجة

أي إن

من المصفوفة المميزة الخاصة لطبقتين، المعادلة(٨٩-٢) تكون :الانعكاسية لهذه الحالة

تكون الانعكاسية لهذا الترتيب من الأطلاء المضادة للانعكاس مساوية للصفر عندما:

S-لنمط الاستقطاب

P-لنمط الاستقطاب

نفرض استخراج علاقة مشتركة تصح لنمطي الاستقطاب باتباع الخطوات الآتية:
من المعادلة(٢-١٢٧) نحصل على:

بضرب هذه المعادلة بالمقدار

تتساوى المعادلتان (٢-١٢٨), (٢-١٢٦) فقط عندما

أي إن الانعكاسية تحت هذا الشرط فقط تساوي صفراً للنمطين في آن واحد وتعرف هذه الظاهرة بالانكسار الكلي.
(بتعويض المعادلة (٢-١٠٧) في المعادلة(٢-١٢٦

Let ,

تمثل المعادلة الأخيرة شرط اختيار معامل الانكسار للطبقة الخارجية الذي عن

S, P.ده تكون الانعكاسية صفراً ولنمطي الاستقطاب

الفصـــل الثـالث
الحسابات والنتائج والمناقشة
Calculations, Results and Discussion

٣-١ الانعكاسية بدون طلاء

تمت دراسة طيف الانعكاسية لمواد أساس عازلة وأخرى معدنية ولحالة S,P لزوايا سقوط مختلفة ولنمطي الاستقطاب الانعكاس الخارجي معتمدين المعادلات(١٠٠-٢)و(٦٩-٢) و(٧١-٢)و(٧٢-٢).

٣-١-١ الانعكاسية عن سطوح العوازل

تم اختيار الزجاج نوع BK-٧ (nsub=١.٥٢) كمادتين أساس يسمحان لنفاذ الضوء (nsub=٤)والجرمانيوم في منطقتي الطيف المرئي وتحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي على التوالي، وتمت دراسة تأثير تغير زاوية السقوط في انعكاسية المادة ولنمطي الاستقطاب S,P ، يوضح الشكلان(١-٣) و(٢-٣) تأثير تغير زاوية السقوط في كمية الضوء المنعكس لمادتي الزجاج والجرمانيوم، ففي حالة السقوط العمودي تكون الانعكاسية للنمطين متساوية ولا يمكن التمييز بينهما، وعند زيادة قيم زوايا السقوط تبدأ قيم الانعكاسية (RP) عند زاوية (RP=٠)بالانخفاض إلى أن تصل إلى أدنى قيمة لها سقوط خاصة هي زاوية بروستر وتزداد بعدها تدريجياً، أما الانعكاسية لنمط الاستقطاب العمودي RS فتزداد بزيادة زاوية السقوط إلى أن تصل إلى أعلى قيمة لها عند زاوية السقوط .

الانعكاسية عن سطوح المعادن٣-١-٢
تم اختيار (الفضة والذهب والألمنيوم والصوديوم) كمواد معدنية ودراسة طيف الانعكاسية لها عند زوايا سقوط مختلفة ولنمطي الاستقطاب S,P -٥) كما هو موضح في الأشكال (٣-٣)و(٤-٣)و(٣). كما تم إجراء مقارنة لتغير طيف الانعكاسية مقابل زوايا سقوط مختلفة لمادتي الفضة والزجاج كما هو في الشكل(٦-٣)، حيث يتضح أن انعكاسية الضوء من سطح المعدن تكون بنفس طريقة انعكاسه من سطح العازل، وتتمثل الفروق الرئيسة بينهما في الانعكاسية العالية جداً للمعدن وكذلك في انعكاسية نمط الاستقطاب- حيث تكون أقل يمكن عند زاوية تعرف بزاوية السقوط P الرئيسة وهي مناظرة لزاوية بروستر في حالة العازل.
معامل الانكسار الفعال لأوساط مختلفة ٣-١-٣
عند السقوط غير العمودي للضوء ولدراسة منحنيات الانعكاسية لزوايا سقوط مختلفة فقد حددت معاملات الانكسار الفعالة لكل من وسط السقوط، والنفاذ، والمواد المرسبة والمادة الأساس ولحالتي الانعكاس الخارجي والداخلي ولنمطي الاستقطاب S, P بالاعتماد على المعادلتين(٢-٩١)و(٢-٩٢).
توضح الأشكال (٣-٧)و(٣-٨)و(٣-٩) تغير معاملات الانكسار الفعالة لزوايا سقوط مختلفة ولنمطي الاستقطاب ولحالة الانعكاس الخارجي من الهواء إلى المواد(الهواء، والزجاج، والجرمانيوم) حيث يلاحظ من الأشكال بأن الفرق بين يزداد عندما يكون معامل الانكسار للمادة الأساس ذا قيمة واطئة مثل الهواء(n=١) بينما يقل الفرق في حالة كون معامل الانكسار ذا قيمة

عالية كما هو في الجرمانيوم والسليكون. الشكل(١٠-٣) يوضح منحني قيم معاملات الانكسار الفعالة لزوايا سقوط مختلفة لحالة السقوط من الزجاج إلى المواد(Ti_3O_5, Ti_2O_3, MgF_2, Ti, air) حيث تظهر في هذا الشكل حالتا الانعكاس الخارجي والداخلي ويلاحظ في الانعكاس الداخلي بان تصل إلى الصفر عند الزاوية الحرجة للمادة الأساس. الشكل(١١-٣)يوضح مقارنة بين معاملات الانكسار الفعالة لزوايا سقوط مختلفة للمواد الأساس(الزجاج، والهواء، والجرمانيوم، والسليكون)ولنمطي الاستقطاب عندما يكون وسط السقوط الهواء .

jjj

الطلاء المضاد للانعكاس ذو الطبقة المفردة ٣-٢
السمك البصري يساوي ربع طول موجة ٣-٢-١
تمت دراسة طيف الانعكاسية لمادتي الزجاج والجرمانيوم كمادتين أساس بعد ترسيب طبقة مفردة عليهما عند أطوال موجية مختلفة ولمدى واسع من زوايا السقوط، وذلك عندما يكون السمك البصري (مساوياً لربع طول موجة التصميم بالاعتماد على المعادلة(٢-٩٩.
طيف الانعكاسية لمادة أساس ذات معامل انكسار واطئ٣-٢-١-١
تم اختيار الزجاج بأنواعه BK-٧ (nsub=١.٥٢) وSF١١ (nsub=١.٨٥) وLaSF٩ (nsub=١.٧٩)
كمواد أساس ذات معامل انكسار واطئ (nsub=١.٤٥)والسليكا ، حيث تمت MgF٢ (n١=١.٣٨)مرسبةً عليها طبقة مفردة من مادة
دراسة طيف الانعكاسية لهذه التصاميم وعند أطوال موجية مختلفة ولزوايا سقوط عمودية ومائلة، وفيما يلي أهم العوامل المؤثرة في انعكاسية هذا النوع من الطلاء.
أ- تغير طيف الانعكاسية مع الطول الموجي
تمثل الأشكال من(١٢-٣) إلى(١٦-٣) تغير قيم الانعكاسية مع الطول الموجي لطلاء من مادة MgF٢ مرسب على الزجاج

والسليكا(ولموجة التصميم (LaSF٩, SF١١, BK-٧بأنواعه ولحالة السقوط العمودي والمائل. يلاحظ من الأشكال بأن الحصول على أقل انعكاسية لحالة السقوط العمودي يكون عند استعمال المادة LaSF٩. هذه النتائج مطابقة للنتائج النظرية المستحصلة من الأساس ، حيث كانت دراستها مقتصرة على زوايا [١١] Haifa قبل الباحثة BK-٧ السقوط العمودية. الشكل(١٧-٣) يبين انعكاسية مادة الزجاج عند طول موجة ليزر MgF٢بعد ترسيب طبقة مفردة عليها من مادة الهليوم-نيون .

ب- تغير طيف الانعكاسية مع زوايا السقوط
يوضح الشكلان(١٨-٣)، (١٩-٣) تغير الانعكاسية مع الطول ولزوايا سقوط مختلفة ولنمطي BK-٧ الموجي لمادة الزجاج على التوالي. يلاحظ من الأشكلين بأنه لنمط S, Pالاستقطاب تكون أقل انعكاسية عند ثم تزداد عند الزوايا وتكون P-الاستقطاب فتكون أقل انعكاسية عند S-عالية عند الزوايا ، أما لنمط الاستقطاب ثم تزداد تدريجياً بزيادة زاوية السقوط. أما الشكل(٢٠-٣) فيبين تغير الانعكاسية دالةً لزوايا السقوط ولنمطي الاستقطاب حيث تكون ثم تبدأ S,Pالانعكاسية متساوية عند زوايا السقوط العمودية للنمطين بالانخفاض إلى أن تصل إلى الصفر وبعد ذلك RPبالزيادة و RS . تزداد بازدياد الزاوية إلى أن تصل أعلى قيمة لها عند
طيف الانعكاسية لمادة أساس ذات معامل انكسار عالٍ ٣-٢-١-٢
تمت دراسة تغير طيف الانعكاسية مع الطول الموجي وزاوية السقوط لمادتي الجرمانيوم والسليكون كمواد أساس ذات معامل انكسار عالٍ وعند المنطقة الطيفية للأشعة تحت الحمراء ولحالتي السقوط العمودي والمائل، وفيما يلي أهم العوامل المؤثرة في انعكاسية هذا النوع من الطلاء.

أ- تغير طيف الانعكاسية مع الطول الموجي
يبين الشكل(٢١-٣) تغير الانعكاسية عند أطوال موجية مختلفة لمادة الجرمانيوم (ns=٤) مرسبةً عليها مادة ZnS(n١=٢.١٥) عند( ). أما الشكل(٢٢-٣) فيوضح تغير الانعكاسية مع الطول الموجي لطلاء من مادة SiO (n١=١.٩) مرسب على السليكون( ) وزاوية السقوط (nsub=٣.٥) عند( ) .

ب- تغير طيف الانعكاسية مع زوايا السقوط
يبين الشكلان(٢٣-٣)، (٢٤-٣) تغير الانعكاسية مع الطول الموجي لطلاء من مادة ZrO٢ (n١=٢.١) مرسب على الجرمانيوم ولموجة ( ) CO٢ ليزر ولنمطي الاستقطاب S,P. يلاحظ من الشكلين بان أوطأ انعكاسية تكون عند الزوايا وتزداد عند السمك البصري يساوي نصف طول موجة ٣-٢-٢ .
يوضح الشكلان(٢٥-٣)، (٢٦-٣) انعكاسية مادة الزجاج دالةً للطول الموجي بعد ترسيب طبقة مفردة من مادة MgF٢ وبسمك بصري يساوي نصف طول موجة التصميم ولزوايا السقوط العمودية وزاوية السقوط على التوالي. الشكل(٢٧-٣) يبين تغير الانعكاسية مع الطول الموجي لطلاء من مادة ZrO٢ مرسب على الجرمانيوم بسمك بصري يساوي نصف طول موجة.
وقد أجريت مقارنات عديدة للطلاء بطبقة مفردة، فالشكلان(٢٨-٣)و(٢٩-٣) يمثلان مقارنة لمنحني الانعكاسية مقابل الطول الموجي

لطلاء ذي طبقة مفردة بسمك بصري يساوي ربع طول موجة ولطلاء بسمك نصف طول موجة مرسب على مادتي الزجاج والجرمانيوم على التوالي، حيث يلاحظ أن السمك الذي هو ربع طول موجة يحقق أقل انعكاسية. والشكل(٣-٣٠) يبين الانعكاسية دالةً لمواد أساس ذات معاملات انكسار مختلفة بدون طلاء وبعد طلائها بطلاء ذي طبقة مفردة. كما يبين الشكل(٣-٣١) تغير الانعكاسية مقابل معاملات الانكسار لمواد أساس مختلفة مرسبةٍ بسمك بصري يساوي ربع طول MgF_2 عليها طبقة مفردة من مادة موجة التصميم.

٣-٣ الطلاء المضاد للانعكاس ذو الطبقتين
تعد تصاميم الطلاء المضاد للانعكاس ذي الطبقة المفردة ولزوايا سقوط عمودية ومائلة أقل كفاءة بصرية وذلك بسبب صعوبة الحصول على مواد ذات معامل انكسار يتفق مع شرط الحصول على أقل انعكاسية لطلاء ذي طبقة مفردة، لذا فقد تم بناء تصاميم لطلاء متعدد الطبقات ومنها الطلاء ذو الطبقتين والذي هو بصدد دراستنا الحالية. يوضح الشكلان (٣-٣٢)و(٣-٣٣)مقارنة لانعكاسية المادة بدون طلاء وبعد طلائها بطبقة مفردة وطبقتين.

٣-٣-١ السمك البصري يساوي ربع طول موجة
١-١-٣-٣ طيف الانعكاسية لمادة أساس ذات معامل انكسار عالٍ
كمادة اساس ذات معامل (nsub=٤)تم اختيار مادة الجرمانيوم ، Nd-YAGوليزر CO_2انكسار عالٍ وعند طول موجتي ليزر وقد تم تحديد معاملات الانكسار للطبقة الخارجية والداخلية بسمك يساوي ربع طول موجة باستعمال المعادلة(٢-١٣٢) والمعادلة(٢-١٣٣) والتي تحقق شرط الحصول على انعكاسية صفرية لزوايا سقوط محددة ولنمطي الاستقطاب S,P. وعند اختيار الزوايا كانت معاملات الانكسار على نحو ما يأتي:

n١	n٢
١.٢٣٩٩١٢	٢.٤٧٩٨٢٥
١.٢٠٦٩٧	٢.٤١٣٩٤
١.١٥٧٨٠٥	٢.٣١٥٦١

وقد تمت دراسة تأثير تغير زوايا السقوط في طيف الانعكاسية لأطوال موجية مختلفة، والأشكال(٣٤-٣)،(٣٥-٣)،(٣٦-٣) توضح تغير قيم الانعكاسية مع الطول الموجي لمادة الجرمانيوم لزوايا السقوط ولنمطي الاستقطاب S,P عند طول موجة ليزر CO_2. يلاحظ من هذه الأشكال أن الانعكاسية لنمطي الاستقطاب تكون مساوية للصفر عند طول موجة التصميم. أما الشكلان(٣٧-٣)،(٣٨-٣) فيوضحان تغير قيم الانعكاسية مع الطول الموجي لزاويتي السقوط عند طول موجة ليزر Nd-YAG. ويلاحظ من هذه الأشكال أن الانعكاسية تزداد بزيادة زاوية السقوط.

طيف الانعكاسية لمادة أساس ذات معامل انكسار واطئ ٣-٣-١-٢

كمادة اساس ذات BK-٧ تمت دراسة طيف الانعكاسية لمادة الزجاج معامل انكسار واطئ وقد تم حساب معاملات الانكسار للطبقتين لزوايا السقوط بالاعتماد على (n٢)والداخلية (n١)الخارجية المعادلة(٢-١٣٢) والمعادلة(٢-١٣٣) فكانت على نحو ما يأتي:

n١	n٢
١.٠٨٥٨٦٤	١.٣٣٨٧٤٤

١.٣٢١٣٣ ١.٠٧١٧٤

الجدول(٢-٣) يوضح قيم معاملات الانكسار للطبقتين
للزجاج كمادة أساس (n٢)والداخلية (n١)الخارجية

يوضح الشكلان (٣٩-٣)،(٤٠-٣) تغير قيم الانعكاسية مع الطول
عند طول موجتي S,Pالموجي لزاويتي السقوط ولنمطي الاستقطاب
التصميم . يتضح من الشكلين أن الانعكاسية للنمطين تكون مساوية
للصفر عند طول موجتي التصميم.
Azzamتتوافق النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج الباحث
الذي استعمل الطرائق الكلاسيكية بدل طريقة المصفوفة [٥٩]
المميزة، حيث اقتصرت دراسته على مادة الجرمانيوم كمادة اساس
. CO٢ولزاوية السقوط مستعملاً طول موجة ليزر

الفصل الرابع
الاستنتاجات والمقترحات المستقبلية
Conclusions and Future Suggestions

٤-١ الاستنتاجات Conclusions

يمكن تلخيص أهم الاستنتاجات لهذه الدراسة بما يلي:

١. يمكن اعتماد نظرية المصفوفة المميزة لتصميم طلاء ذي طبقتين مرسب على مواد عازلة ومعدنية لغرض اختزال أو تقليل كمية الضوء المنعكس من هذه السطوح.

٢. تعد تصاميم الطلاء المضاد للانعكاس ذي طبقتين أكثر كفاءة بصرية من الطلاء ذي الطبقة المفردة في تقليل الانعكاسية وذلك بسبب صعوبة الحصول على مواد ذات معامل انكسار يتفق مع شرط الحصول على اقل انعكاسية لطلاء ذي طبقة مفردة.

٣. تأثير تغير سمك الطبقة الخارجية في طيف الانعكاسية يكون أكبر من تأثير الطبقة الداخلية حيث إن الزيادة والنقصان في سمك الطبقة الخارجية تزيح القيم الصغرى للانعكاسية باتجاه الأطوال الموجية الطويلة والقصيرة على التوالي.

٤. زيادة نسبة (n_1/n_2) تعمل على تقليل الانعكاسية لمدى واسع من الأطوال الموجية عند منطقة الطيف المرئي بينما انخفاض هذه النسبة يعمل على تقليل قيم الانعكاسية عند منطقة الأشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي.

٥. سلوكية منحني الانعكاسية لنمطي الاستقطاب لمواد أساس عازلة تتفق في الشكل العام مع منحني الانعكاسية عندما تكون مواد الأساس معدنية والاختلاف يقع عند زاوية الاستقطاب للعازل وزاوية السقوط الرئيسة للمعدن.

٦. إمكانية الحصول
على قيم متساوية لمعامل الانكسار الفعال ولنمطي الاستقطاب (العمودي والموازي) لمادتين مختلفتين بمعامل الانكسار الحقيقي من خلال دراسة منحني معامل الانكسار الفعال.

٤-٢ المقترحات المستقبلية Suggestions Future

١. بناء تصاميم من
أطلاء تعمل على زيادة الانعكاسية للموجة الساقطة على مواد أساس عازلة أو معدنية ولزوايا سقوط مختلفة.

٢. بناء تصاميم مضادة
للانعكاس ولحالة الانعكاس الداخلي (السقوط من وسط ذي معامل انكسار عالٍ إلى وسط ذي معامل انكسار واطئ).

٣. إعادة بناء نفس
التصاميم لمتعدد الطبقات باستعمال أطوال موجية مختلفة ولزوايا سقوط مختلفة أيضاً.

٤. بناء تصاميم مضادة
للانعكاس ولنمطي الاستقطاب العمودي والموازي سويةً وفي آن واحد.

References

١. F.A. Genkins and H.E. White, Fundamental of Optics (McGraw-Hill-Kogakusha, Ltd, ١٩٨١).

٢. K.L. Chopra, Thin Film Phenomena (McGraw-Hill Company, New York, ١٩٨٩).

٣. D. Morton; I. Stevenson and M. Garcia, "Design and Development of Optical Coating on Laser Bar Facets", Denton vacuum, LLC, (٢٠٠٢).

٤. N. Wade, "Antireflection Coatings", www.excite.com. (٢٠٠٢).

٥. A. Thelen, Design of Optical Interference Coatings (McGraw-Hill Company, New York, ١٩٨٩).

٦. E. Hecht, Optics, Third Edition, (Addison-Wesley, New York, ١٩٩٨).

٧. A.V. Mitsa; V.M. Mitsa and A.M. Uhrin, "Modelling of Spectral Characteristics of Inhomogeneous (Gradient) Antireflection Coatings Based on Chalcogenide Glasses", Chalcogenide Letters, Vol.٢, ٥-٧, (٢٠٠٥).

٨. S.T. Allan, "Thin Films Give Optical Component a Boost", Iop Publishing Ltd, (٢٠٠٤).

٩. H.K. Pulker, "Characterization of Optical Thin Film", Appl. Opt. (١٩٧٩), ١٨, ١٩٦٩-١٩٧٣.
١٠. C.L. Nagendra; M. Viswanathan and G.K. M.Thutupalli, "Design and Optimization of Low-Loss Wideband Antireflection Coatings for the Visible and Infrared Regions: A New Method", Appl. Opt. ٢٤, ١١٥٦-١١٦٣, (١٩٨٥).
١١. H.G. Rasheed, "Design and Optimization of Thin Film Optical Filters with Applications in Visible and Infrared Regions", Ph.D. Thesis, Al-Mustansiriyah University, (١٩٩٦).
١٢. R.R. Willey, "Simulation of Errors in the Monitoring of Narrow Band Pass Filtters", Appl.Opt. ٤١, (٢٠٠٢).
١٣. A.R Henderson, "The Design of Non-Polarizing Beam Splitters", Thin Solid Films, ٥١, ٣٣٩-٣٤٧, (١٩٧٨).
١٤. C.L. Nagendra and G.K.M. Thutupalli, "Design of Three-Layer Antireflection Coatings: A Generalized Approach", Appl.Opt.٢٧, ٢٣٢٠-٢٣٣٣, (١٩٨٨).
١٥. H.A. Macleod, Thin Film Optical Filters (McGraw-Hill Company, New York, ١٩٨٦).
١٦. V.R. Costich, "Reduction of Polarization Effects in Interference Coatings", Appl.Opt.٩, ٨٦٦-٨٧٠, (١٩٧٠).

١٧. M. Born and E. Wolf, Principle of Optics, Sixth Edition, ((Pergamon, London, ١٩٨٦).
١٨. J.A. Aguilera; J. Aguilera; P. Baumester; A. Bloom; D. Coursen and J.A. Dobrowelski, "Antireflection Coating for Germanium IR.Optical: a Comparison of Numerical Design Methods", Appl.Opt.٢٧, ٢٨٣٢-٢٨٤٠, ((١٩٨٨).
١٩. J.A. Dobrowolski and R.A. Kemp, "Refinement of Optical Multilayer System with Different Optimization Procedures", Appl.Opt.٢٩, ٢٨٧٦-٢٨٩٣, (١٩٩٠).
٢٠. A. Thelen, "Equivalent Layers in Multilayer Filters", J.Opt.Soc.Am.٥٦, ١٥٣٣-١٥٣٨, (١٩٦٦).

الملحق(A)

مخطط يوضح خطوات برنامج Hookes والمكتوب بلغة البيسك السريع(QB)