

المعالجة الصورية لأهداب التدخل البصري واستخدامها في تحديد عيوب العدسات باستخدام ليزر الهيليوم نيون

سامي عبد الحسين هاتف حيازة

قسم هندسة الليزر والبصريات الالكترونية، الجامعة التكنولوجية

الخلاصة

تم في هذا البحث تصميم وبناء منظومة أهداب التداخل البصري Fabry Perot Interferometer لغرض تحديد الأضواء الموجية بدقة تصل الى أجزاء النانومتر باستخدام ليزر الهيليوم نيون الطول الموجي (632.8) نانومتر كمصدر ضوئي متشابه والتي تظهر الحاجة اليها في بعض الدراسات الطيفية وذلك من خلال تغيير الضغط المسلط على منظومة التداخل البصري .

تم حساب الدقة (finesse) ومعامل الدقة (Coefficient of Finesse) وقابلية رؤية الأهداب (visibility) وتنفيذ المعالجة الصورية (Image Processing) لأهداب التدخل الناتجة من المنظومة البصرية والتي يمكن الاعتماد على نتائج تحليلها من اكتشاف العيوب التصنيعية للعدسات المستخدمة في المنظومات البصرية المختلفة .

1. الوصف الرياضي

تتصف جميع الموجات الضوئية بأنها موجات مستعرضة يهتز كل جزء منها على استقامة خط يتعامد مع اتجاه الانتشار وتعطي ازاحة أية نقطة على الموجة (y) بالعلاقة [1]:

$$Y(x) = A_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \dots\dots\dots [1]$$

اذ تمثل A_0 سعة الموجة ، λ طول الموجة . وعندما تتحرك الموجة بسرعة (v) يدخل عامل الزمن وتصبح العلاقة :

$$y(x,t) = A \cos \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \dots \dots \dots [2]$$

حيث تمثل (v) سرعة المجموعة وعند تحويل المعادلة أعلاه الى موجة كهرومغناطيسية تكون :

$$E = E_0 \sin(Wt - kx - \phi) \dots \dots \dots [3]$$

حيث تمثل ϕ ثابت الطور (Phase constant)

2- قياس الطول الموجي بطريقة التداخل الضوئي

عند تحريك احدى مرآتي Fabry-Perot ببطء من موضع الى آخر تتحرك الأهداب ومن ثم فان عدد الأهداب التي تعبر مركز المجال سيكون دالة للمسافة التي تحركتها المرآة بدلالة الطول الموجي (λ) طبقاً للمعادلة الآتية [2]:

$$\lambda = \frac{2d}{N} \dots \dots \dots [4]$$

حيث تمثل (d) المسافة التي تحركتها المرآة و (N) عدد الأهداب ويعطي الموضع (d_1) المناظر للهدب المضيء من الرتبة (N_1) بالعلاقة الآتية :

$$2d_1 = N_1 \lambda \dots \dots \dots [5]$$

والموضع (d_2) المناظر للهدب المضيء من الرتبة (N_2) بالعلاقة :

$$2d_2 = N_2 \lambda \dots \dots \dots [6]$$

وبطرح المعادلتين نجد أن :

$$d_1 - d_2 = (N_1 - N_2) \frac{\lambda}{2} \dots \dots \dots [7]$$

وعليه فان المسافة التي قطعتها المرآة تساوي عدد الأهداب مضروبة في نصف الطول الموجي .

3- قياس معامل الانكسار بطريقة التداخل الضوئي :

إذا أدخلت قطعة من مادة شفافة سمكها (t) ومعامل انكسارها (n) في مسار احدى الحزمتين المتداخلتين في مقياس التداخل ، فان المسار البصري يزداد لان الضوء يتحرك بسرعة اقل في هذه المادة ومن ثم يصبح طوله الموجي أقصر . فاذا فرضنا أن (ΔN) هو عدد الأهداب الذي يزاح به النظام الهدبي عند وضع المادة في مسار الأشعة فان [3]

$$(n-1)t = (\Delta N)\lambda \dots \dots \dots [8]$$

وعليه يمكن تعيين معامل الانكسار (n) بقياس $\Delta N, \lambda, t$. وبحساب عدد الأهداب (ΔN) التي تعبر من البداية الى أن يصل الغاز الى درجة الحرارة والضغط المطلوبين يمكن إيجاد معامل الانكسار .

4- رؤية الأهداب (visibility)

تعطى النسبة بين الشدة العظمى (I_{max}) الى الشدة ($I_{min}=I_0$) للأهداب بالعلاقة الآتية [4]:

$$\frac{I_0}{I_{max}} = \frac{(1+R)^2}{(1-R)^2} \dots \dots \dots [9]$$

حيث تمثل (R) مقدار معامل الانعكاسية لمرايا منظومة التداخل البصري . وتستخدم هذه النسبة لقياس التباين في النمط الهدبي (Contrast in the Fringe Pattern) وكمعيار للرؤية (V) (Visibility) والتي تعطي بالعلاقة الآتية :

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \dots \dots \dots [10]$$

وعند التعويض عن قيمة I_{max} و I_{min} ونحصل على :

$$V = \frac{2R}{(1+R)^2} \dots \dots \dots [11]$$

ويتضح من المعادلة أعلاه بأن رؤية الأهداب تكون دالة لمعامل الانعكاسية .

5- حساب الدقة (f) (Finesse)؛

تعرف النسبة بين الفاصلة بين قمتين (Δ_r, λ) الى عرض النصف (Δ_r, λ) بالدقة (f) أي أن :

$$f = \frac{\Delta_r \lambda}{\Delta_r \lambda} = \frac{\frac{\lambda}{N}}{\frac{\lambda}{1.57N\sqrt{F}}} \dots \dots \dots [12]$$

حيث تمثل الكمية $F = \frac{4R}{(1-R)^2}$ بمعامل الدقة (Coefficient of Finesse) و

$$\Delta_f \lambda = \frac{\lambda}{N} , \quad \Delta_r \lambda = \frac{\lambda}{1.57N\sqrt{F}} \dots \dots \dots [13]$$

$$\therefore f = 1.57\sqrt{F} \dots \dots \dots [14]$$

وعليه فان الدقة تعتمد على الانعكاسية ولا تعتمد على المسافة بين المرآتين .

الجانب العملي

تصنيع الحاوية : تم تصنيع حاوية على شكل اسطوانة معدنية مجوفة من الحديد طولها (15) سم وقطرها الداخلي (6.25) سم ، مسننة من الداخل ومن كلا الجهتين لكي تنزلق عليها حاملة تثبيت النافذة والتي تفيد في تغير البعد بين المرآتين . تحوي الاسطوانة على فتحتين لدخول وخروج الهواء . تم تثبيت الاسطوانة على حامل معدني من الوسط بحيث تثبت على جزء بصري يتحرك فوقه سكة معدنية خلال عملية الترسيف وكما موضح بالشكل (1).

تم استخدام برنامج (Zemax) للتصاميم البصرية لأختيار انعكاسية النافذة بعد معرفة معامل انكسار الألمنيوم ومعامل التوهين واستخدام مطياف نوع (λ9) في فحص وقياس الخواص البصرية . تم تحضير النافذتين على ثلاث مراحل بدأت باختيار أرضية النافذة (المرآة) ومن ترسيب غشاء رقيق (Thin film) على النافذة بطريقة القذف الالكتروني باستخدام منظومة تبخير . وأخيرا" تحديد الانعكاسية للنافذة من خلال سمك الغشاء المرسب بعد تحديد نوع المعدن الذي يعطي أعلى انعكاسية للأطوال الموجية المستخدمة في البحث.

تم تغيير فرق المسار البصري (Optical Path Difference) بطريقتين الأولى عن طريق حركة المرآة والثانية عن طريق تغيير ضغط الوسط حيث يكون معامل الانكسار دالة للضغط ومن ثم يتم حساب معامل الانكسار لكل ضغط .

رصدت المنظومة كما في الشكل (2) وسجلت قراءة الضغط الابتدائي (Pi) عن طريق مقياس التفريغ ثم تسجيل عدد الأهداب (N) عند الضغط النهائي (Pf) وهكذا يتم تسجيل عدد الأهداب عند كل تغير في قيمة الضغط .

أسلوب تحديد الأهداب: تم استخدام منظومة التدخل البصري المبينة بالشكل (3) بعد أن تم تعشيق كاميرا فيديو مع الحاسبة عن طريق (Interface A/D Converter) ، وذلك

لغرض ادخال صورة أهداب التداخل الناتجة من المنظومة البصرية لجهاز التداخل الى الحاسبة وتمت المعالجة الصورية لهذه الأهداب عن طريق استخدام برنامج التحليل (MATLAB.R12)

الحسابات والنتائج : يعطي الطول الموجي بالعلاقة التالية :

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

حيث تمثل λ_0 طول الموجة في حالة الفراغ، n معامل انكسار الوسط المار فيه الضوء.

ف عند الضغط الابتدائي (P_i) يكون عدد الأهداب التي تحسب هو $N_i = \frac{2d}{\lambda_i}$ وعند الضغط

النهائي (P_f) فان عدد الأهداب هو $N_f = \frac{2d}{\lambda_f}$ ويمثل الفرق بين القيمتين ($N_i - N_f$) عدد

الأهداب (N) أي أن (5):

$$N = \frac{2d(N_i - N_f)}{\lambda_0}$$

$$N_i - N_f = \frac{N\lambda_0}{2d}$$

حيث

يمثل الجدول (1) قيمة معامل الانكسار لكل ضغط باستخدام ليزر الهيليوم-نيون عندما كانت المسافة بين النافذتين (2،5.2،3) سم على التوالي ويوضح الشكل (4) العلاقة بينهما في حين يمثل الجدول (2) والشكل (5) العلاقة ذاتها عند الطول الموجي (532) نانومتر . تم حساب قابلية الرؤية (Visibility) من خلال العلاقة الآتية:

$$V = \frac{2R}{(1+R)^2}$$

وحساب معامل الدقة (F) (Coefficient of Finesse) من العلاقة الآتية

$$F = \frac{4R}{(1-R)^2}$$

وحساب الدقة (f) (finesse) والتي تمثل الفاصلة بين قمتين الى عرض النصف من

$$f = 1.57\sqrt{F}$$

العلاقة الآتية :

ويمثل الجدول (3) نواتج القيم أعلاه عندما تكون انعكاسية النافذة (70%).

4. المعالجة البصرية : تمت المعالجة البصرية (Image Processing) لأهداب التداخل الناتجة من المنظمة البصرية باستثمار التسهيلات التي يقدمها البرنامج (MATLAB.R12) ويبين الشكل (6-a) صورة لأهداب التداخل الناتجة من المنظومة البصرية باستخدام ليزر الهيليوم-نيون والتي تم تصويرها عن طريق تعشيق كاميرا فيديو مع الحاسبة وتقل الصورة مباشرة الى الحاسبة للحصول على قدرة تحليل عالية لصورة الأهداب الناتجة من الشكل (1) وأخذت الحلقات الثلاث الأولى .

يبين الشكل (6-b) مقدار توزيع الشدة للحلقات الثلاث الأولى حيث نلاحظ أن أعلى شدة تكون للحلقة المركزية ، مع العلم أن قدرة تحليل الشاشة كانت للمحور السيني (10.88) سم والتي تكافئ (1024 pixel) وللمحور الصادي (7.4) سم والتي تكافئ (679 Pixel) .

يوضح الشكل (6-c) المنحنى ببعدين لقيم أقصى شدة للحلقات الثلاث الأولى بعد أن تم تحليل هذه الشدة بوساطة اجراء عملية المسح لكل حلقة من الحلقات الثلاث باتجاه المحور السيني ونلاحظ مقدار ثابت بين الحلقات والتي تبلغ (50 Pixel) .

وتكمن الفائدة من المعالجة البصرية في ايجاد وتحديد العيوب في العدسات المصنعة من خلال تصوير الأهداب الناتجة من العدسة موضع الاختيار وتحليلها ببرنامج (MATLAB.R12) ومقارنتها بشكل الأهداب التي تتكون من العدسات المرجعية (Reference lenses) . وتظهر عملية التحليل هذه التشوهات في الأهداب ومن ثم فيما اذا كانت هنالك عيوب في العدسة المصنعة من خلال ملاحظة توزيع الشدة لأهداب التداخل الناتجة والمسافات الفاصلة بينها وعدد الحلقات المتكونة . فضلا" امكانية تحديد دقيق جدا" للأطوال الموجية المراد معرفة مقدارها عن طريق امرار الأشعة على منظومة التداخل البصري ومن خلال التحكم بالضغط داخل المنظومة وحساب عدد الأهداب المتكونة يتم تحديد هذه الأطوال الموجية .

5. التحليل ومناقشة النتائج :

- 1- تتناسب قيمة معامل الانكسار طرديا مع تغير الضغط المسلط.
- 2- لا تتأثر قيمة معامل الانكسار عندما تتغير المسافة بين النافذتين، لان معامل الانكسار دالة للضغط وليس دالة للبعد

- 3- تتناسب قيمة الضغط (p) مع عدد الأهداب (N) فكلما ازداد الضغط يزداد عدد الأهداب ويكون انتقال الأهداب بأنها تمتد الى الخارج أي بمثابفة زيادة المسافة بين الناقتين والعكس صحيح.
- 4- يتناسب الطول الموجي المقاس طردياً مع الضغط المسلط في داخل الحجرة .
- 5- يمكن الحصول على نتائج دقيقة جداً في تحديد الطول الموجي باستخدام طريقة تغير الضغط المسلط .
- 6- الفائدة العملية للمعالجة الصورية في تحديد العيوب التصنيعية للعدسات المستخدمة في المنظومات البصرية .

المصادر

1. Halliday, Resnick. (1988). Fundamental of physics , 3rd edition , Wiley International .
2. Hernandez, (1987), Fabry –perot interferometer, Oxford University Press, London
3. Subrahmanyam,N. and Bijlal.(1998). A textbook of optics .
4. Andersson,M.; Itasson, L.E. and Pendrill , L.R. (1987). App.Opt . 26(22):4835-4842.
5. Precision Interferometer, (2001). Manual, Pasco Scientific.

الجدول (1) قيم معامل الانكسار لكل ضغط باستخدام ليزر الهيليوم - نيون .

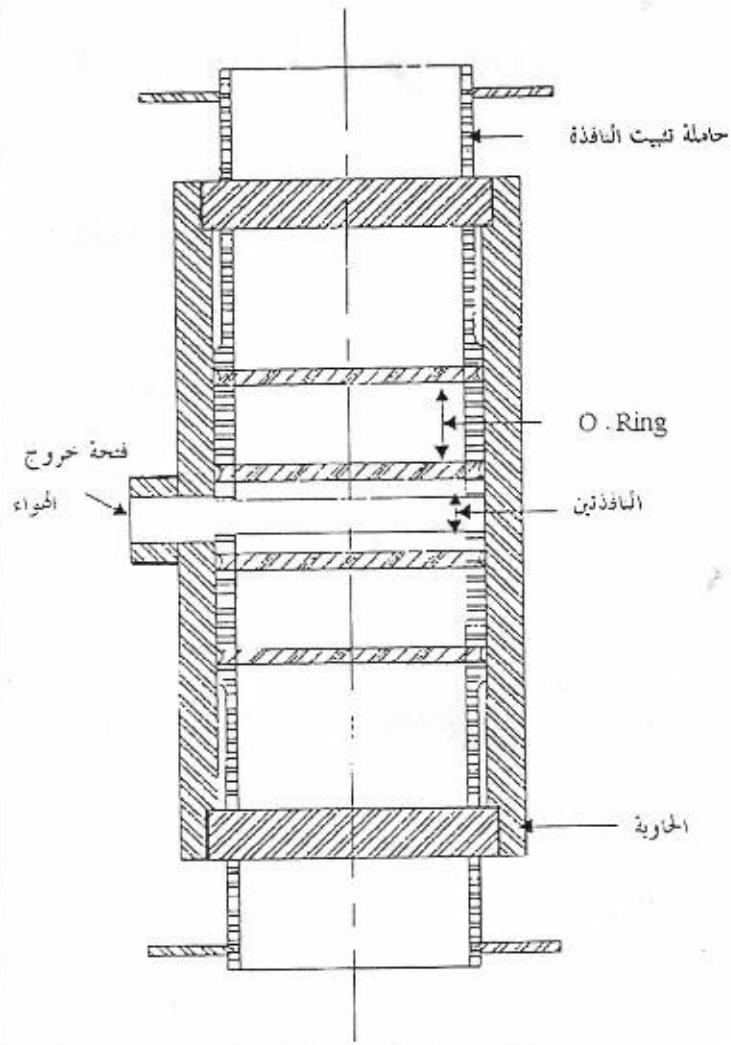
d = 2 cm	n_i	n_r	P (mmHg)	N(number)
	0.99717	0.99673	0	225
	0.99765	0.99717	100	195
	0.99812	0.99765	200	165
	0.99860	0.99812	300	135
	0.99907	0.99860	400	105
	0.99955	0.99907	500	75
	1.000025	0.99955	600	45
	1.000263	1.000025	700	15
	1.0005	1.000263	800	15
	1.000975	1.0005	900	45
	1.00145	1.000975	1000	75
d = 2.5 cm	0.99779	0.99703	0	225
	0.99817	0.99779	100	195
	0.99855	0.99817	200	165
	0.99893	0.99855	300	135
	0.99931	0.99893	400	105
	0.99969	0.99931	500	75
	1.000073	0.99969	600	45
	1.000263	1.000073	700	15
	1.000456	1.000263	800	15
	1.00083	1.000456	900	45
	1.00122	1.00083	1000	75
d = 3 cm	0.99816	0.9978	0	255
	0.998484	0.99816	100	195
	0.998809	0.998484	200	165
	0.999132	0.998809	300	135
	0.999456	0.999132	400	105
	0.99978	0.999456	500	75
	1.000104	0.99978	600	45
	1.000263	1.000104	700	15
	1.000428	1.000263	800	15
	1.00075	1.000428	900	45
	1.001076	1.00075	1000	75

الجدول (2) قيم معامل الانكسار لكل ضغط باستخدام الليزر الأخضر (532) nm

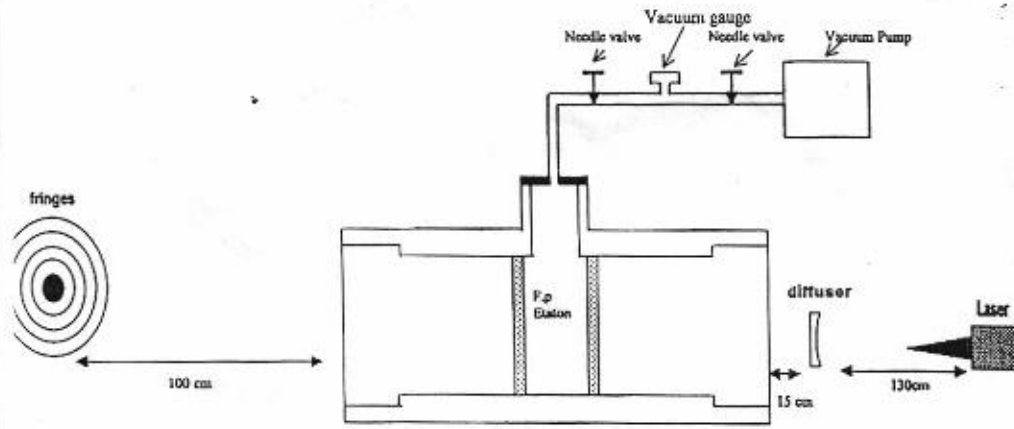
d = 2 cm	n_i	n_r	P (mmHg)	N(number)
	0.99767	0.99723	0	225
	0.99807	0.997670	100	195
	0.99847	0.99807	200	165
	0.99886	0.99847	300	135
	0.99926	0.99886	400	105
	0.99966	0.99926	500	75
	1.0000639	0.99966	600	45
	1.000263	1.0000639	700	15
	1.000467	1.000263	800	15
	1.00087	1.000467	900	45
	1.00127	1.00087	1000	75
d = 2.5cm	0.99818	0.99786	0	225
	0.99850	0.99818	100	195
	0.99882	0.99850	200	165
	0.99914	0.99882	300	135
	0.99946	0.99914	400	105
	0.99978	0.99946	500	75
	1.00010	0.99978	600	45
	1.000263	1.00010	700	15
	1.00041	1.000263	800	15
	1.00073	1.00041	900	45
	1.00105	1.00073	1000	75
d = 3 cm	0.99853	0.99827	0	255
	0.99880	0.99853	100	195
	0.99906	0.99880	200	165
	0.99933	0.99906	300	135
	0.99959	0.99933	400	105
	0.99986	0.99959	500	75
	1.000130	0.99986	600	45
	1.000263	1.000130	700	15
	1.00040	1.000263	800	15
	1.00067	1.00040	900	45
	1.00094	1.00067	1000	75

الجدول (3) قيم الدقة ومعامل الدقة وقابلية الرؤية عند انعكاسية نافذة 70% .

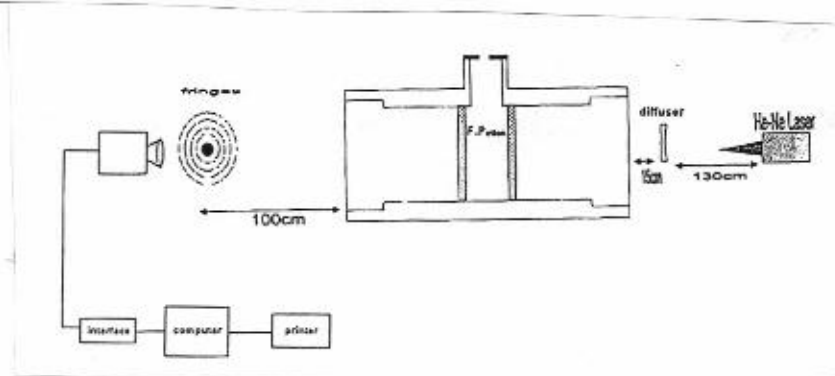
Reflectivity (R)	Visibility (V)	Coeff. Of Finesse (F)	Finesse (f)
0.7	0.9395	31.1111	8.757



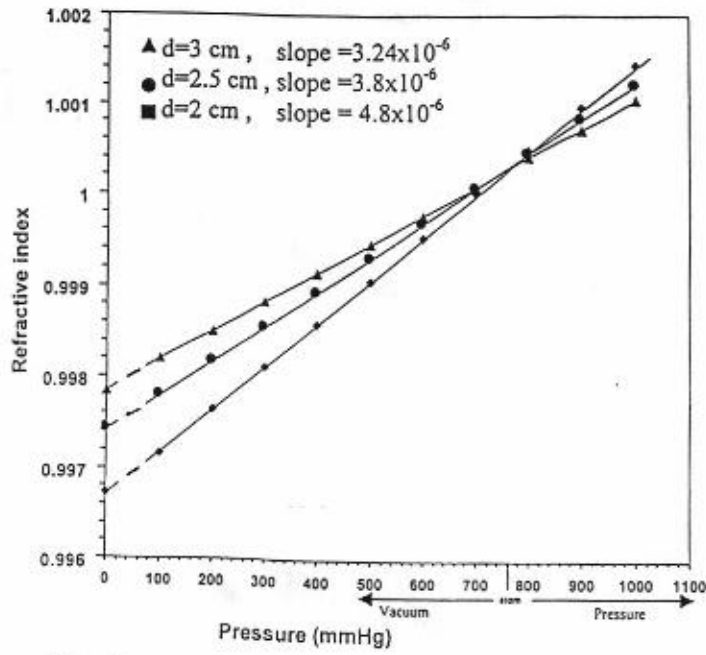
الشكل (1) التركيب النهائي لمنظومة التداخل البصري



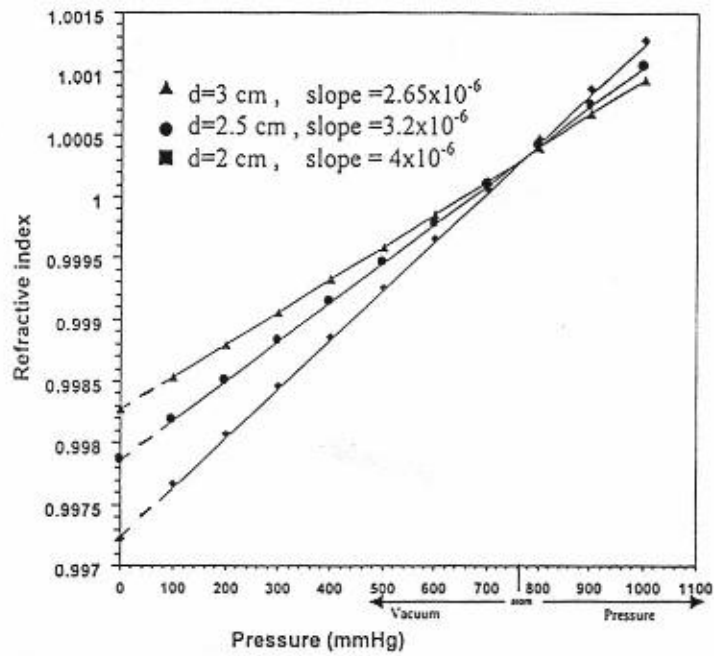
الشكل (2) مخطط منظومة التداخل البصري



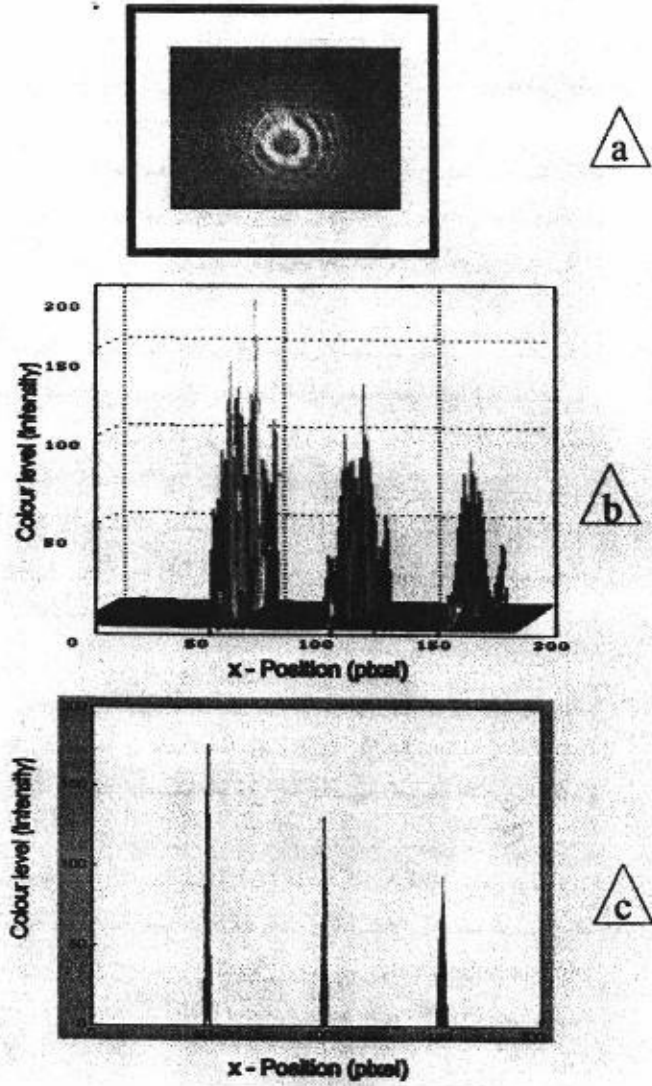
الشكل (3) مخطط منظومة تصوير الأهداب



الشكل (4) العلاقة بين معامل الانكسار والضغط باستخدام ليزر الهيليوم - نيون



الشكل (5) العلاقة بين معامل الانكسار والضغط باستخدام الليزر الأخضر (532) nm



الشكل (6) المعالجة الصورية لأهداب التداخل

Using Image Processing of A Fabry –Perot Interferometer to Determine the Defects of Lenses by Using He-Ne Laser

S.A. H. Habaua

Department of Laser Engineering and Electronic Opticals, University of Technology

Abstract

A design of a Fabry –Perot interferometer system was constructed to determine the precise value of the wavelength which is required in spectral studies depending on varying medium pressure where the refractive index was a function of pressure at a constant distance between the two mirrors by using a He-Ne laser (632.8) nm as a coherent source .

The (finesse) (f) and the coefficient of finesses (F) and the visibility of the fringes (V) has been calculated . Image processing was used and its result can be relied on verifying the defects of the manufactured lenses used in the optical instruments.