

الفصل الثامن

تأثير التشعيع على الخواص الضوئية للألياف

The Effect of Irradiation on the Optical Properties of Fibres

يتناول هذا الفصل تأثير التشعيع على الخواص الضوئية للألياف ، ويتضمن قسمين ، القسم الأول (١/٨) نتناول فيه دراسة تأثير أشعة جاما وكذلك التشعيع بالنيوترونات على الخواص الضوئية (الامتصاص الضوئي) للألياف البصرية ، بينما يقدم القسم الثاني (٢/٨) تأثير أشعة جاما على معاملات الانكسار والانكسار المزدوج للألياف التركيبية والنسجية والبصرية .

١/٨- تأثير التشعيع بأشعة جاما وبالنيوترونات على امتصاص الألياف البصرية للضوء

The effect of γ and neutron irradiation on the optical absorption of optical fibre waveguids:

عند تعريض ألياف بصرية لإشعاع نووي nuclear radiation فإن امتصاص الألياف للضوء يزيد وهذا الامتصاص المستحث induced absorption يسبب فقدا مستحثا induced loss وزيادة في فقد أو اضمحلال الأشعة التي تنقلها هذه الألياف . ويؤخذ في الاعتبار هذا الامتصاص المستحث بالإشعاع عندما تستخدم نظم التراسل الضوئي في جو مشع radiation environments ، وقد أجريت دراسات عديدة للتعرف على سلوك الألياف اثناء وبعد التشعيع لشرح ميكانيكية الفقد المستحث بالإشعاع Maurer et al., 1973 - و بإنتاج ألياف بصرية قليلة الفقد وبتركيبات جديدة لقشرة ولب الشعيرات أجريت دراسات على تأثير الإشعاع على الألياف من نوع Polymer-clad (Friebele et al. 1978b) وsilica (PCS) وكذلك الألياف المصنوعة من السيليكا المشابة والألياف البلاستيكية Plastic fibres (Friebele et al. 1978 a) وأمكن دراسة النمو والاضمحلال الناتج من تأثير التشعيع بجرعات من ١ راد إلى ٦١٠ راد .

وتعمل نظم التراسل الضوئى - وخاصة التى تستخدم لمسافات أقل من ٢ كيلومتر - فى منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة near infra-red عند الطول الموجى ٨٥٠ نانومتر ، حيث يستخدم ثنائى باعث الضوء (LED) Light emitting diode و ليزر الحقن injection laser ، ودرست معظم خصائص الألياف قليلة الفقد عند طول الموجة ٠,٨٢ ميكرومتر . لقد قام "Frieble" ومعاونوه (١٩٧٩) بدراسات عن سلوك الألياف البصرية وخصائصها حول الطول الموجى ١,٣ ميكرون . وقد أظهرت النتائج التى توصلوا إليها عند الطول الموجى ٠,٨٢ ميكرون ، أن الإتلاف الذى يحدث فى ألياف PCS يصل إلى التشبع بزيادة الجرعة فيصل الفقد المستحث عند التشعيع بجرعات صغيرة إلى أكثر من مائتى ضعف القيمة المتوقعة المحسوبة على أساس جرعات التشعيع الكبيرة عند استخدام أطوال قصيرة للألياف البصرية أو ألياف مصممة . كما لوحظ :

١- أن ألياف PCS التى تحتوى على قدر ضئيل من مجموعة الهيدوكسيل OH تكون أكثر قابلية للإتلاف الناتج من التشعيع باستخدام أطوال موجية عند ٠,٨٢ ميكرون عن ألياف تحتوى على قدر كبير من OH .

٢- حدوث امتصاص انتقالي كبير فى ألياف السليكا المشابة لبها بالجيرمانيوم .

٣- أنه قد أظهرت القياسات الطيفية لطيف الامتصاص للألياف فى المدى الطيفى من ٠,٤ إلى ١,٠ ميكرون أن الامتصاص المستحث نتيجة الإشعاع يقل عندما تنتقل فى اتجاه الأطوال الموجية الأطول .

واقدم أصبح التعرف على خصائص الإتلاف الناتج من التشعيع للألياف التى معامل فقدها ضئيل حول $\lambda = 1,3$ ميكرون ، ضرورة أساسية لنظم التراسل الضوئى التى تستخدم أجهزة ليزر ينبعث عنها أشعة لها هذا الطول الموجى وذلك للانخفاض الملحوظ فى التفرق الضوئى حول هذه القيمة للطول الموجى أى تغير معامل انكسار مادة الألياف البصرية مع الطول الموجى وللتعرف على التفسير الفيزيائى لميكانيكية الإتلاف الناتج عن التشعيع المستحث عن الامتصاص المستحث نأخذ نوعين من الإتلاف :

أ- إتلاف للألياف بتعريضها لأشعة γ . تتفاعل أشعة γ أساسا مع الزجاج ، فيتم إكراه الألكترونات لتترك مواقعها المألوفة وتتحرك خلال شبكية الزجاج . ينتج عن ذلك أولا زيادة في معامل الامتصاص في منطقتي الأشعة فوق البنفسجية والمنظورة والأشعة تحت الحمراء القريبة . وفي عام (١٩٧٤) قام « سيجل وايفانز Sigel & Evans » بدراسة الإتلاف المستحث الناتج بالتشعيع بأشعة γ في الألياف وخلصا إلى ان فقد المستحث يعتمد أساسا على تركيب الشعيرة ويتغير بين 10^{-4} - ١٠ ديسيبيل لكل كيلومتر لكل راد لألياف مصممة من ثاني أكسيد السيليكون bulk suprasil Sio_2 ، ٥ ديسيبيل لكل كيلو متر لكل راد للألياف من زجاج Corning عند ٨٠٠٠ أنجستروم . يعنى هذا أن مادة السليكا النقية المصهورة شديدة المقاومة للإشعاع في حين أن زجاج Corning رقم ٥٠١٠ له قابلية محسوسة للتغير بالإشعاع .

ب- إتلاف الألياف بتعريضها للنيوترونات . تتفاعل النيوترونات في الأوساط الصلبة أساسا مع النواه - انظر 1975 Shah - لهذا فما يحدث نتيجة التعريض للنيوترونات ليس فقط زيادة في فقد الناتج عن الامتصاص إنما يحدث أيضا تغيرات تركيبية ينتج عنها تغير في الكثافة وفي معامل الانكسار ، وقوة دوران rotary مستوى الاستقطاب للأشعة ، والانكسار المزوج والموصلية الحرارية .

وفي عام (١٩٧٣) قام « مورير Maurer et al » ومعاونوه بتشعيع ألياف متعددة المنوال مصنوعة من زجاج السليكا بحزمة من النيوترونات ١٤ مليون إلكترون فولت مستخدمين جرعات كبيرة تصل الى $1,4 \times 10^{12}$ نيوترون لكل سم^٢ . وقد أفادت النتائج بأن فقد المستحث من التشعيع بالنيوترونات يتغير خطيا تقريبا مع الجرعة الكلية وأن قيمته تكون أقل من $1,5 \times 10^{-11}$ ديسيبيل لكل كيلو متر لكل نيوترون لكل سم^٢ في المدى من ٨٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ أنجستروم .

والحصول على قياسات طيفية ثابتة Permanent وتعتبر كمرجع استخدم « فريبيل Friebele et al » ومعاونوه عام (١٩٧٩) أليافا بصرية طولها من ١٠-٣٠ مترا تم تشعيعها بمصدر كوبلت ٦٠ ينبعث منه 10^6 راد (سليكون) وقيس الامتصاص الضوئي في

المدى الطيفي من ٠,٤ إلى ١,٧ ميكرون قبل التشعيع وبعد انقضاء ساعة واحدة. كما تم تعريض شميرة بصرية طولها متر واحد لمدة ٣ نانوثانية ، ٣٧٠٠ راد لحزمة من ٠,٥ مليون الكترون فولت الكترونات نبضية . وكانت الألياف التي استخدمها فرييل ومعاونوه من النوع متدرج معامل انكسار ليه ، كما حصلوا على نتائج مماثلة باستخدام ألياف بصرية ثابت معامل انكسار ليهها . وقد دلت نتائج تجاربهم على أنه بالإضافة الى حدوث أشربة امتصاص عريضة فى منطقتى الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء فقد سجلت زيادة فى الشدة فى شرائط الهيدروكسيل OH وشریط Combination عند ١,٣ ، ١,٢٣ ، ٠,٩٥ ميكرون .

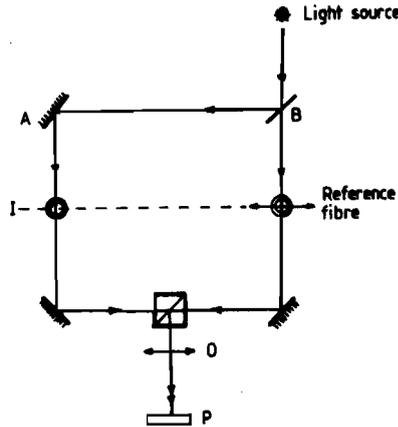
٢/٨- تأثير التشعيع بأشعة جاما على قيمة معاملات الانكسار والانكسار المزوج للألياف البصرية والألياف النسيجية التركيبية

The effect of γ irradiation on the refractive indices and birefringence of optical and synthetic textile Fibres :

طبق « برتولوتى , Bertolotti et al » ومعاونوه (١٩٨٠ ، ١٩٧٩) طريقة التداخل الضوئى الثانى لدراسة التغيرات الصغيرة فى معاملات الانكسار للألياف البصرية بعد تعرضها لأشعة جاما . واستنتجوا أنه تطراً تغيرات محسوسة على كل من معاملات الانكسار وأبعاد الألياف البصرية حتى باستخدام جرعات منخفضة نسبياً من أشعة جاما (راد واحد مثلاً) . وزيادة على ذلك فإن هذه التأثيرات تختفى عند درجة الحرارة العادية خلال عدة أيام . وفيما يلى شرح الطريقة التى استخدمها برتولوتى ومجموعته .

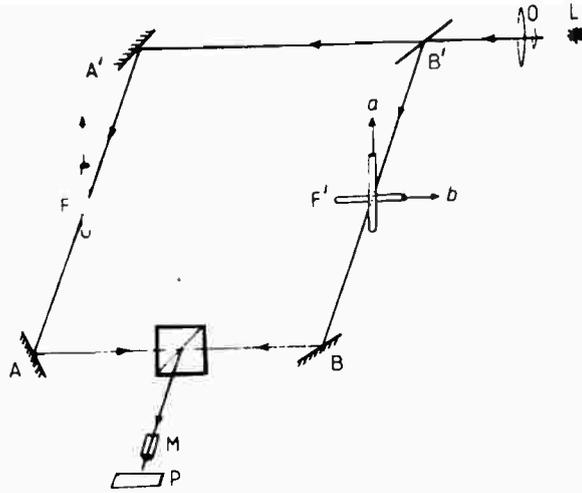
يبين الشكل رقم (١/٨) النظام البصرى لميكروسكوب التداخل الضوئى الثانى لماخ وزندر Mach-Zehender interferometer الذى يسمح بتكوين هدب التداخل الضوئى الناتج من الشعاع الذى يعبر الشميرة الموضوعة فى النراع A لمقياس التداخل الضوئى وشعاع آخر مرجع يمر خلال النراع B الذى يحتوى على عينة من شميرة عيارية . ومقياس التداخل الضوئى الموضح فى الشكل رقم (١/٨) هو أحادى المسار . وتضبط صورة واضحة لهذب التداخل الضوئى على الفيلم الحساس P باستخدام الكون البصرى 0 . لقد

استخدمت هذه الطريقة لتعيين التغيرات التي تطرأ على معاملات انكسار الألياف البصرية (STEP) للضوء ، وكذلك التغيرات في أبعاد هذه الألياف بعد تشميعها بجرعة إشعاعية مقدارها كيلوراد واحد من أشعة جاما ناتجة من مصدر كوبالت ^{60}Co . وسجل برتواوتى ومجموعته تغيرات نسبية في أنصاف أقطار لب وقشرة الشعيرات تصل قيمتها ١,٨ ، ٢,٩ ، ٨٪ على الترتيب ، وتغيرات في معاملات انكسار لب وقشرة الشعيرات بمقدار ٢,٨ ، ٢,٢٦ ، ٢٪ على الترتيب .



شكل رقم (١/٨) : نظام تداخل ضوئى ثنائى مستخدم لدراسة التغيرات الضئيلة فى معامل انكسار الألياف البصرية المشعة بإشعاع γ (من Bertolotti et al 1980 b)

كما قدم "Bertolotti et al" (١٩٨٠. a) وصفا لطريقة مفيدة وهى طريقة التداخل الضوئى بالطرح Subtraction interferometric method ، وذلك لتعيين التغيرات الصغيرة التي تطرأ على معاملات انكسار وأبعاد الألياف البصرية ، ويوضح الشكل رقم (٢/٨) النظام البصرى المستخدم فى هذه الطريقة . فتوضع شعيرتان فى ذراعى مقياس ماخ وزنبر Mac-Zehender interferometer على أن يكون محوراهما متوازيين فى الوضع (a) متعامدين فى الوضع (b) .



شكل رقم (٢/٨) : رسم تخطيطي للنظام البصري لطريقة التداخل الضوئي بالطرح عند تطبيقها على الألياف البصرية . L مصدر ضوئي ، AA' ، BB' مكونات مقياس التداخل الثنائي لماخ وزندر . M ميكروسكوب ، P لوح فوتوغرافي . توضع الشعيرتان في زراعي المقياس على أن يكون محوراها متوازيين في الوضع a ومتعامدين في الوضع (b)

إزاحة هيب التداخل الضوئي عند تطبيق طريقة التداخل الضوئي بالطرح على الألياف

Expressions for the fringes shift in subtraction interferometry of fibres :

سندرس حالة التداخل الضوئي بالطرح بين عينتين من نفس الشعيرة ، أحدهما تعمل كمرجع والأخرى مشععة والمطلوب تعيين تأثير التشعيع على كل من أبعاد ومعاملات انكسار الشعيرة . توضع العينتان في زراعي مقياس التداخل الضوئي لماخ وزندر ، على أن يكون محوراها متوازيين أو متعامدين ، كما في الشكل رقم (٢/٨) وفي كلتا الحالتين فإن فرق طول المسار الضوئي (OPL) بين المرأتين AA' والمرأتين BB' تعطيه المعادلة :

$$\Delta = \int_A^{A'} n dx - \int_B^{B'} n dx$$

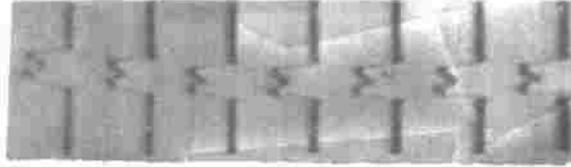
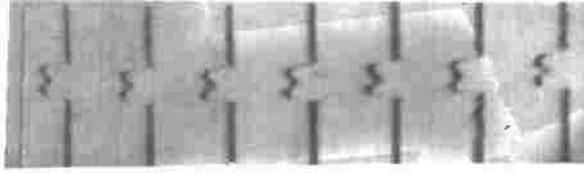
وياعتبار أن التغيير في معاملات الانكسار يكون صغيرا وأن الشعيرة عبارة عن جسم يغير من طور الأشعة phase object فإن Δ تظهر كإزاحة في الهبة .

١/٢/٨- تأثير أشعة جاما على معاملات الانكسار والانكسار المزدوج لألياف النسيج التركيبية

Effect of γ irradiation on the refractive indices and birefringence of textile synthetic fibres :

طبق "Hamza et al" (١٩٨٦) هدب فيزيو للتداخل الضوئي لدراسة تأثير أشعة جاما على بعض الخواص الضوئية للألياف التركيبية . وأجريت عملية التشعيع فى الهواء . واستخدم "Hamza and Mabrouk" (١٩٨٨) هدب التداخل الضوئي المتعدد عند النفاذ وعند الانعكاس لتحديد معاملات الانكسار والانكسار المزدوج لألياف الدرالون Dralon المشععة بأشعة جاما . وأجرى التشعيع عند ضغط منخفض (١٠×١٠^{-٤} تور) ، حيث وضعت العينات فى أنبوبة اختبار تغلق بعد إجراء عملية التفريغ والوصول إلى قيمة هذا الضغط المنخفض . وعرضت لأشعة جاما من مصدر كوبلت ٦٠ Co 60 . وأجريت عملية التشعيع لأزمنة مختلفة من ٩٦ إلى ٥٧٣ ساعة ، وكان معدل الجرعة الإشعاعية هو ٢٣,٧١ ± ٠,٢٧ راد / ثانية . ويبين الشكل رقم (٨/٣/أ ، ب) هدب التداخل الضوئي المتعدد لفيزيو عند الانعكاس عندما تعبر شعيرة من ألياف الدرالون المشععة بجرعة إشعاعية مقدارها ٢٢,٥٥٩ ميجاراد ، وذلك باستخدام ضوء أحادى طول الموجة ($\lambda = ٥٤٦,١$ نانومتر) (أ) مستقطبا فى المستوى العمودى على محور الشعيرة (ب) فى الاتجاه الموازى لمحور الشعيرة ، ويمكن حساب معامل الانكسار المتوسط للشعيرة من المعادلة :

$$n_a = n_L + \frac{F \lambda}{2A h}$$



ب

شكل رقم (٢/٨) : هذب التداخل المتعدد لفيوزو عند الانعكاس عبر ألياف درالون بعد تشعيمها بأشعة γ بجرعة ٢٢,٥٥٩ ميغاراد عندما تكون الأشعة وحيدة الطول الموجى مستقطبة فى مستوى وتنذب موازية (a) وعمودية (b) على محور الشعيرة (من Hamza and Mabrouk)

كما هو موضح فى الفصل السادس - حيث A هى مساحة مقطع الشعيرة ، h هى المسافة بين كل هذبتين متتاليتين فى منطقة سائل الفجر ، F هى المساحة المحصورة تحت إزاحة الهذبة عندما تعبر الشعيرة .

ويمكن ملاحظة أن هذه المساحة أكبر فى الصورة (ب/٤/٨) عنها فى الصورة (أ/٤/٨) ، يدل ذلك على أن قيمة n_a^\perp أكبر من قيمة n_a^\parallel عند نفس الجرعة الإشعاعية . والقيم المقاسة لهذا النوع من الألياف بعد تشعيمها هى :

$$n_a^\parallel = 1.5178, n_a^\perp = 1.5202 \text{ and } \Delta n_a = -2.4 \times 10^{-3}$$

ويبين الشكل رقم (ب/٤/٨، أ) هذب فيوزو للتداخل الضوئى عند النفاذ حيث تعبر شعيرة من ألياف الدرالون مشعة بأشعة جاما وجرعة إشعاعية مقدارها ٤٩,١٤٧ ميغاراد ، وذلك باستخدام ضوء أحادى طول الموجة ($\lambda = ٥٤٦,١$ نانومتر) مستقطبا فى المستوى العمودى على محور الشعيرة وفى الاتجاه العمودى عليه على الترتيب . ويمكن من الشكلين

(٢/٨) ، (٤/٨) ملاحظة أن المساحة F المحصورة تحت إزاحة الهدبة عندما تعبر الشعيرة تزيد بزيادة الجرعة الإشعاعية .

واقترح "Hamza and Mabrouk" صيغ وضعية empirical formulae للعلاقة بين معامل الانكسار والجرعة الإشعاعية (r) وكذلك للعلاقة بين معامل الانكسار المزدوج والجرعة الإشعاعية وذلك في المدى من صفر إلى ١٤٧ ، ٤٩ ميجاراد كالاتى :

$$n_a = n_o \exp (ar^{1/3})$$

حيث :

$$n_o^{\parallel} = 1.5122 \quad \text{and} \quad a = 1.344 \times 10^{-5} \text{ rad}^{-1/3} \text{ for } n_a^{\parallel} \text{ and}$$

$$n_o^{\perp} = 1.5164 \text{ and } a = 9.08 \times 10^{-6} \text{ rad}^{-1/3} \text{ for } n_a^{\perp}$$

وبالنسبة لمعامل الانكسار المزدوج اقترحت المعادلة :

$$\Delta n_a = \Delta n_o \exp (-ar^{1/2})$$

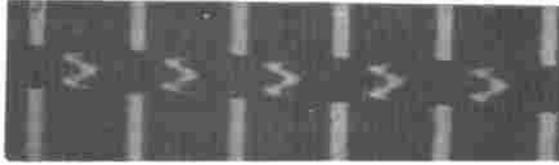
حيث :

$$\Delta n_o = -4.2 \times 10^{-3} \text{ and } a = 1.285 \times 10^{-4} \text{ rad}^{-1/2}$$

وفى حالة ألياف الدراون المشععة بأشعة جاما فى الهواء طبقت نفس المعادلات ولكن باستخدام القيم الآتية :

$$n_o^{\parallel} = 1.5120 \text{ and } a = 2.03 \times 10^{-5} \text{ rad}^{-1/3} \text{ for } n_a^{\parallel}, \text{ and}$$

$$n_o^{\perp} = 1.5162 \text{ and } a = 1.62 \times 10^{-5} \text{ rad}^{-1/3} \text{ for } n_a^{\perp}$$



شكل رقم (٤/٨) : هيب التداخل المتعدد لفيوزو عند النفاذ عبر شعيرة من ألياف الدراون بعد تشعيها بأشعة γ بجرعة ١٤٧, ٤٩ ميجاراد عندما تكون الأشعة المستخدمة وحيدة الطول الموجى مستقطبة فى مستوى وتتذبذب موازية (a) وعمودية (b) على محور الشعيرة (من Hamza and Mabrouk, 1988)

وطبق "Barakat et al" (١٩٨٩) هيب التداخل الضوئى لفيوزو عند النفاذ لتعيين معاملات الانكسار (n_f^{\parallel} , n_f^{\perp}) والانكسار المزوج لألياف الكاشميليون Cashmilone المشعة بأشعة جاما . فعند استخدام ضوء أحادى طول الموجة ($\lambda = ١, ٥٤٦$ نانومتر) وجدت القيمة الآتية قبل التشعيع :

$$n_f^{\parallel} = 1.5118, n_f^{\perp} = 1.5145 \text{ and } \Delta n_f = -0.0026$$

واستنتجوا أن الانكسار المزوج يقل بزيادة الجرعة الإشعاعية r ، وأن المنحنيين بين r و n_f^{\perp} و n_f^{\parallel} يلتقيان عند جرعة إشعاعية مقدارها ١٨٥ ميجاراد . يدل ذلك على أن سلوك الألياف المشعة بتلك الجرعة يقارب سلوك الألياف متمائلة الخواص الضوئية isotropic ، وبزيادة الجرعة الإشعاعية يبعد المنحنيان عن بعضهما ولكن بإشارة مختلفة لقيمة الانكسار المزوج ، وتكون n_f^{\parallel} اكبر من n_f^{\perp} .

References

- Barakat N, El-Hennawi H A, El-Okr M and Sharaf F 1989 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **22** 786
- Bertolotti M, Ferrari A and Scudieri F 1979 *Radiat. Eff. Lett.* **43** 177
——— 1980a *Opt. Acta* **27** 1143
- Bertolotti M, Ferrari A, Scudieri F and Serra A 1980b *Appl. Opt.* **19** 1501
- Friebele E J, Gingerich M E and Sigel Jr G H 1978a *Appl. Lett.* **32** 619
- Friebele E J, Sigel Jr G H and Gingerich M E 1979 *Fibre optics* ed. B Bendow and S Mitra (London : Plenum) p355
- Friebele E J, Sigel Jr G H, Jaeger R E and Gingerich M E 1978b *Appl. Phys. Lett.* **32** 95
- Hamza A A, Ghander A M, Oraby A H, Mabrouk M A and Guthrie J T 1986 *J. Phys. D Appl. Phys.* **19** 2443
- Hamza A A and Mabrouk M A 1988 *Radiat. Phys. Chem.* **32** 654
- Maurer R D, Schiel E J, Kronenberg S and Lux R A 1973 *Appl. Opt.* **12** 2023
- Shah J 1975 *Bell Syst. Tech. J* **54** 1208
- Sigel Jr G H and Evans B D 1974 *Appl. Phys. Lett.* **24** 410