

# الفصل الخامس

تصنيع الألياف البصرية



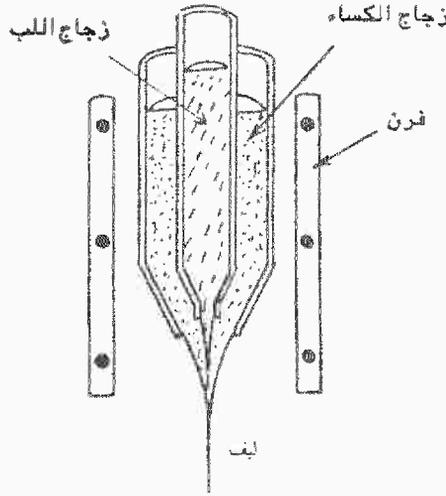
## الفصل الخامس تصنيع الألياف البصرية Manufacturing of Optical Fibers

تصنع الألياف البصرية بطرق عديدة مما يعطي فرصة لاختيار الأنسب منها للتحكم بغواصفها البصرية والميكانيكية والهندسية كما يتيح للمصنع فرصة تصنيعها بسرعة وكميات اقتصادية كبيرة. أياً كانت طريقة التصنيع المتبعة لابد في البداية من الحصول على تشكيلة أولية preform وهي عبارة عن قضيب زجاجي يحتوي على اللب والكساء مقطعة الجانبي مماثل لليب البصري غير أن حجمه كبير مقارنة بالليف المزمع تصنيعه . يسخن طرف من القضيب لدرجة حرارة عالية ويبدأ سحب الليف ويغطي بطبقة الحماية الأولية أثناء السحب وحيث أن معظم الألياف المصنعة حالياً من الزجاج فإن هذا النصل سيكرس معظمه للتحديث عن تصنيع الألياف الزجاجية .

### ١-٥ إنتاج التشكيلة الأولية من الزجاج الغائب Preform Production from Melted Glass

أول الطرق التي استخدمت لإنتاج الألياف البصرية كانت تستخدم تشكيلة أولية تتكون من قضيب مصنع من زجاج السليكا عالي النقاوة لتكون لب الليف توضع داخل أنبوب مصنع من زجاج السليكا عالي النقاوة وبمعامل انكسار أقل من اللب ليكون الكساء ويترك فراغ قليل جداً بين القضيب والأنبوبة الزجاجيين غير أن عيب هذه الطريقة يكمن في الجسيمات الصغيرة والتموجات بين سطح الأنبوب والقضيب التي تحدث توهيناً كبيراً مما أدى إلى البحث عن طرق أخرى لتجنب هذه المشكلة والحصول على ألياف بصرية بأقل فقد ممكن ، ومن هذه الطرق استخدام البوتقة المزدوجة حيث يتم التعامل مع مادة اللب ومادة الكساء وهما في الحالة المذابة بدلاً من الحالة الصلبة كما هو في الطريقة السابقة حيث يتم استخدام بوتقتين إحداهما تحمل المكونات الأساسية

لللب والأخرى تحمل المكونات الأساسية للكساء في حالتها المذابة كما هو في الشكل (١-٥).



الشكل (١-٥) إنتاج الألياف بطريقة البوتقة المزدوجة

تتكون مادة اللب من الزجاج المركب عالي النقاوة مثل lead alkali silicate و sodium borosilicate glass و glass وعند سحب الليف تتم تغطية اللب بالكساء وبالإمكان تصنيع ليف بمعامل انكسار متدرج بالانتشار diffusion أو التبادل الأيوني ion exchange بين اللب والكساء وتسمى طريقة (سلفوك selfoc).

بتراوح توهين الليف المصنع بهذه الطريقة بين 5 dB/km و 20 dB/km عند  $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$  ولا يقل قطر الليف عن 200  $\mu\text{m}$ .

هناك طريقة ثالثة للحصول على التشكيلة الأولية لإنتاج الألياف البصرية تتمثل في احضار قضيب من السليكا عالي النقاوة ليكون المادة الأساسية لللب وعند تسخينه

وسحب الليف يفظي الليف المسحوب بطبقة من البلاستيك الشفاف ليكون الكساء . وله معامل انكسار أقل من اللب وبذلك نحصل على ليف ليه من الزجاج النقي وكساء من البلاستيك الشفاف. يتراوح توهين هذا النوع من الليف بين 5 dB/km و 50 dB/km عند  $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$  وقد تصنع ألياف بصرية من البلاستيك فقط حيث يصنع اللب والكساء من مواد بلاستيكية شفافة معامل انكسار اللب فيها أكبر من معامل انكسار الكساء غير أن توهين هذه الألياف عالٍ جداً لكثير من استخدامات الاتصالات وقد يتراوح بين 100 dB/km و 400 dB/km عند  $\lambda = 2.6 \mu\text{m}$  .

لاحظنا في الطرق السابقة أن التوهين مرتفع بما يعهد من استخدام الألياف المصنعة بتلك الطرق في أنظمة الاتصالات وفي البنود القادمة سنشرح الطرق المختلفة لتصنيع ألياف بصرية بتوهين قليل جداً .

## ٢-٥ إنتاج التشكيلية بتوسيب بخار الزجاج Preform Production by Glass Deposition out of the Vapor Phase

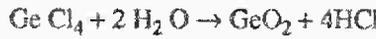
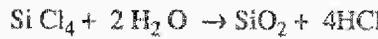
تستخدم طرق عديدة للحصول على تشكيلات أولية تصنع منها ألياف بصرية ذات توهين قليل تعتمد في مجملها على تراكم الزجاج خارجياً أو داخلياً . ففي طريقة تراكم البخار الخارجي يستخدم قضيب دوار كهدف لوضع الزجاج عليه أما في تراكم البخار المحوري فيتم وضع الزجاج على نهاية قضيب من زجاج السليكا . أو يتراكم البخار على السطح الداخلي لأنبوب من زجاج السليكا .

### ١-٢-٥ التوسيب بالتراكم الخارجي Outside Vapor Deposition

يتم إنتاج التشكيلية الأولية بهذه الطريقة بالخطوتين التاليتين :

(١) يستخدم قضيب اسطوانتي من زجاج السليكا أو الألويمينا  $\text{Al}_2\text{O}_3$  أو الجرافين graphine إذ يوضع القضيب في مكيئة خراطة تقوم بلفه وتحريكه طويلاً بصفة مستمرة كما هو في الشكل (٢-٥) ، تسخن منطقة ضيقة من السطح الخارجي باستخدام موقد

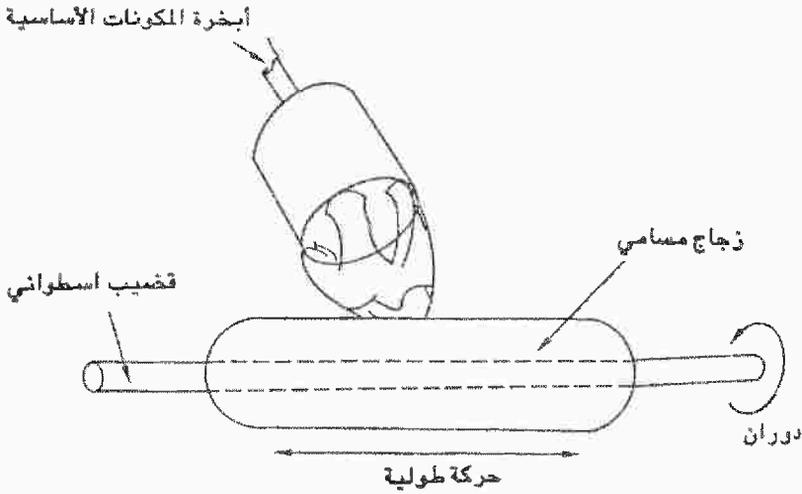
يستخدم غاز الميثان أو البروبين أو خليط من غاز الأوكسجين والهيدروجين .  
أثناء ذلك يمرر الأوكسجين النقي بمحاليل تحتوي المكونات الأساسية لتصنيع  
التشكيلة وغالباً ماتكون من كلوريد السليكا  $SiCl_4$  أو كلوريد الجرمانيوم  $GeCl_4$  ثم  
يمرر الأوكسجين ، مع الأبخرة الناتجة من التفاعل المائي للمكونات الأساسية ، خلال  
الموقد لترسب على سطح القضيب الدوار لتكون الطبقة الأولى لذلك التشكيل .  
ومعادلات التفاعل الكيميائي للمواد المستخدمة هي :



تكون هذه المواد طبقات رسوبية على سطح القضيب الدوار وعند تحريكه طولياً  
للأمام والخلف تتكون تشكيلة أولية من الزجاج المسامي porous glass preform  
على شكل طبقات تطعم كل طبقة من السليكا بمكونات وتركيز يختلف عن الطبقة التي  
سبقتها وبذلك نحصل على أنبوية يقل معامل الانكسار فيها كلما ازدادت سماكتها حتى  
تخلو الطبقات الأخيرة من المواد المضافة وتصبح الطبقات الأخيرة من مادة السليكا  
 $SiO_2$  الكساء إذا كان الهدف هو الحصول على ليف بمعامل انكسار متدرج . أما إذا  
كان الليف بمعامل انكسار عتبي فتطعم مادة السيلكا بالمواد المضافة مثل  $GeO_2$  طبقة  
بعد طبقة وبعد الحصول على السماكة المناسبة لللب يوقف امداد مواد الاضافة ويستمر  
تكوين الطبقات الأخيرة من مادة السليكا لتكوين الكساء .

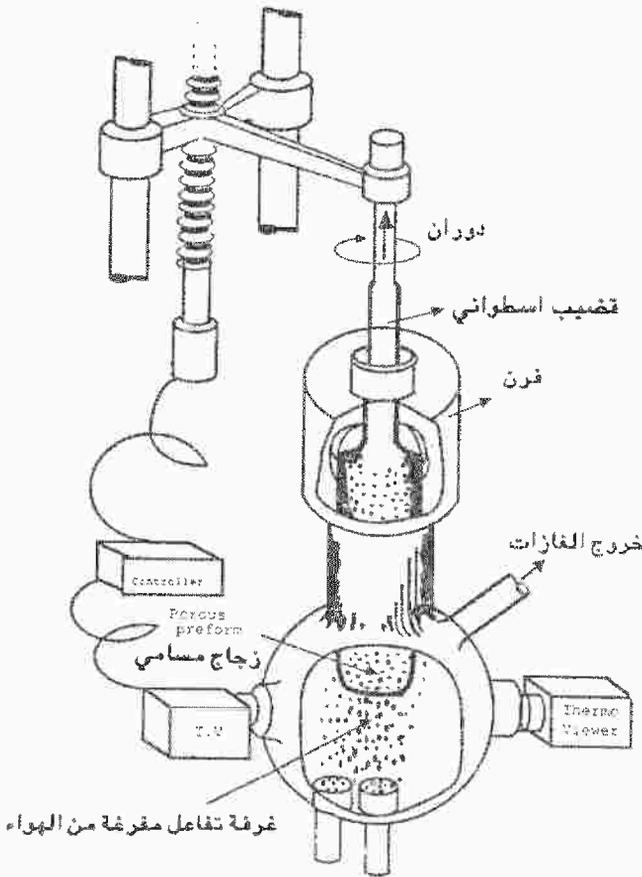
بعد تكوين الطبقات الكافية لللب والكساء توقف العملية وتفصل الأنبوية  
الاسطوانية المكونة من الجسيمات المترسبة soot عن القضيب الاسطواني .

(٢) تسخن الأنبوية على أجزاء segments طولية حتى درجة الذوبان وفي درجة حرارة  
تتراوح بين ١٤٠٠ م° و ١٦٠٠ م° تنهار أو تنكمش الأنبوية ويتحول إلى قضيب زجاجي  
شفاف وصلب ولايد من تسخين الأنبوية في جو مليء بغاز الكلور حتى يمنع تسرب أبخرة  
الماء والا سنحصل على ألياف بصرية ذات توهين مرتفع .



الشكل (٥-٢) تصنيع السليكا المطعمة بالتراكم الخارجي (OVD)

٥-٢-٢-٢-٥ الترسيب بالتراكم المحوري Vapor phase Axial Deposition  
تستخدم هذه الطريقة التراكم المحوري لمادة السليكا والمواد المضافة على الجزء  
الأسفل من قضيب من السليكا . كما هو في الشكل (٥-٣) يتم دورانه وسحب إلى أعلى  
بصفة مستمرة ويستخدم لهذا الغرض موقدين أو أكثر للتحكم في معامل انكسار اللب  
والكساء ، حيث تعتمد عناصر التحكم بمعامل الانكسار على درجة الحرارة وتركيب المواد  
وبعدها عن القضيب وتوزيع كمية المواد المضافة . والمواد المضافة هي نفسها المستخدمة في  
تصنيع السليكا المطعمة بالتراكم الخارجي ، وقرر التشكيل الأولية المسامية بفرن حلقي  
للحصول على تشكيل أولية شفافة . تسخن التشكيل الأولية بالفرن لتتكشف داخل جو  
مليء بغاز الكلورين حتى يمنع تسرب الرطوبة ، وكما أشرنا في طريقة التصنيع السابقة  
يمكن الحصول على ليف بصري بمعامل انكسار متدرج أو عتبي .



الشكل (٣-٥) طريقة الترسيب المحوري للحصول على تشكيلة أولية

### ٣-٢-٥ الترسيب بالتراكم الكيميائي المعدل Modified Chemical Vapor Deposition

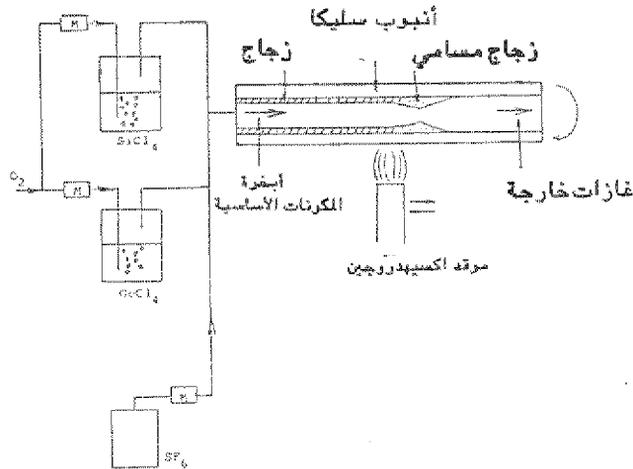
تعتبر هذه الطريقة تعديلاً لطريقة التراكم الخارجي حيث تضاف المكونات من داخل أنبوب السليكا بدلاً من خارجه حيث تبدأ الخطوة الأولى بإحضار أنبوب سليكا ركب في مكينه خراطة تتولى تحريكه وتدويره طولياً كما في الشكل (٤-٥) . يتولى موقد يعمل بخليط من غازات الأوكسجين والهيدروجين تسخين الأنبوب وتمر داخل الأنبوب في هذه الأثناء أبخرة كلوريد السليكا وهي المادة الأساسية لليف والمواد المضافة الأخرى مثل كلوريد الجرمانيوم  $GeCl_4$  المحمولة بغاز الأوكسجين النقي المار

بمحاليل تحتوي على هذه المركبات الغازية ، يتحرك الأنبوب أفقياً وبالتوازي مع الموقد فيحدث تأكسد للمكونات الأساسية والمضافة داخل الأنبوب نظراً لوجود الأوكسجين كما هو في المعادلات التالية:



يتراوح سمك الطبقات المترسبة من أوكسيد السليكا وأوكسيد الجرمانيوم بين 20  $\mu\text{m}$  و 40  $\mu\text{m}$  . يتم التحكم بمعامل الانكسار من خلال المواد المضافة وفي هذه الطريقة يزداد معامل الانكسار كلما ابتعدنا عن الجدار الداخلي للأنبوب. يشكل الأنبوب في هذه الحالة الكساء للليف المزمع صنعه . في الخطوة الثانية بعد تكوين الطبقات الكافية للتشكيل الأولية يتم تسخين الأنبوب على أجزاء طولية فيتحول الأنبوب إلى قضيب زجاجي شفاف .

إذا كانت الغازات المستخدمة في هذه الطريقة خالية من الهيدروجين فإن الأنبوب لا يحتاج إلى تجفيف كما في الحالات السابقة ولأن الغازات المستخدمة في الموقد تقع خارج الأنبوب فإنها لا تؤثر على اللب وكذلك المؤثرات الخارجية الأخرى .

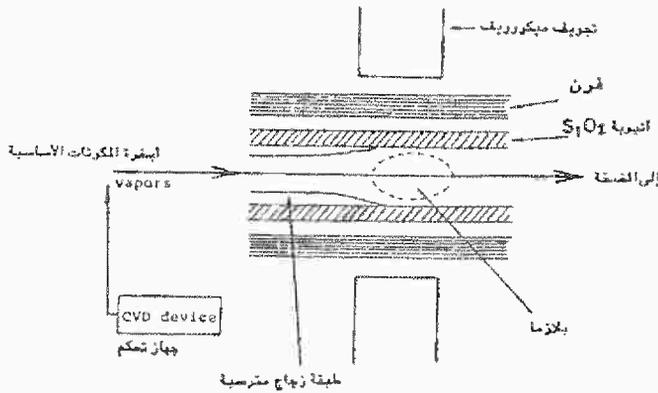


الشكل ( ٤-٥ ) طريقة تكوين التشكيلة الأولية بالتراكم الكيميائي المعدل

### ٤-٢-٥ الترسيب بالتراكم الكيميائي بالبلازما Plasma Chemical Vapor Deposition

يتبع في هذه الطريقة نفس الخطوات المتبعة في طريقة انتاج التشكيلة الأولية بالتراكم الكيميائي المعدل وتختلف عنها في طريقة التفاعل . ففي هذه الطريقة (الشكل ٥-٥) يتم تعرض الغازات لأشعة ميكروويف يتراوح ترددها بين 2GHz و4GHz فتتأين هذه الغازات إذا كان أنبوب السليكا تحت ضغط منخفض (10 torr) وعندما تتحد هذه الأيونات فإنها تطلق طاقة حرارية عالية تستخدم لإذابة المكونات داخل الأنبوب حيث تتفاعل الغازات مثل  $SiCl_4$  و  $GeCl_4$  في جو مليء بالأوكسجين لتكوين طبقات من ثاني أوكسيد السليكا والمواد المضافة .

بما أن شعلة البلازما تتحرك بسرعة للأعلى وللأسفل داخل الأنبوب فبإمكان تصنيع أكثر من ألف طبقة رقيقة مما يتيح الفرصة للحصول على تحكم جيد في تدرج معامل الانكسار .



الشكل (٥-٥) تكوين التشكيلة الأولية بالتراكم الكيميائي باستخدام البلازما

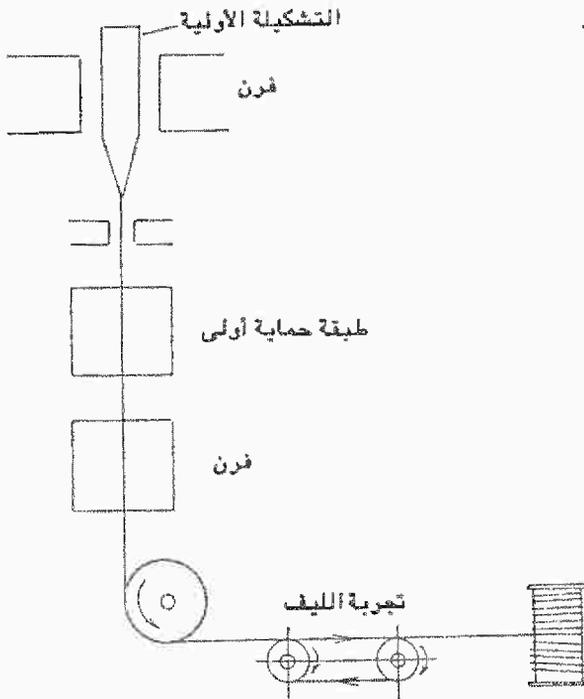
### ٣-٥ سحب الليف البصري Fiber Drawing

بعد تصنيع التشكيلة الأولية بإحدى الطرق الآنف ذكرها تركيب على برج كما في

الشكل (٥-٦) ، بوضع الحامل بوضع رأسي يتم التحكم فيه مع ميكانيكا تغذية .

يسخن الجزء الأسفل من التشكيلة الأولية حتى ٢٠٠٠ م° حتى تبدأ السليكا بالذوبان حينها يبدأ سحب الليف ، وللحصول على قطر ثابت لليف لابد من سحبه بسرعة ثابتة (حوالي ٢٠٠ متر لكل ثانية) وتحكم دقيق في تغذية التشكيلة الأولية حتى تبقى تحت تأثير الحرارة العالية وتستمر السليكا بالذوبان ، ولابد من الإشارة إلى أن السليكا عند ذوبانها تصبح مطاطية يمكن سحبها وعلى الرغم من أن النسبة بين قطر التشكيلة الأولية وقطر الليف يبلغ ١ : ٣٠٠ فإن المنظر الجانبي لمعامل الانكسار وتناسب اللب والكساء يحافظ عليه طوال فترة السحب ونحصل على ليف بصري متجانس . تتم مراقبة سماكة الليف طول فترة السحب وبعد ذلك يغطي الليف بطبقة الحماية الأولى التي تحسن من قوة الليف وتحميه من الشني الموضعي microbending وتسهل التعامل معه بعد ذلك يمر الليف على مجموعة من البكرات ويتعرض لقوى شد لاختبار تحمله قبل أن يطوى على

براميل اسطوانية .



شكل (٥-٦) آلة سحب وتغطية الألياف البصرية

## ٤-٥ الخلاصة Summary

أدى التعامل مع الألياف البصرية إلى معرفة خصائص هذه الألياف والتعرف على أسباب التوهين والانتشيت المختلفة مما مكن من إيجاد طرق مختلفة يتم بواسطتها التخلص من الشوائب والحصول على ألياف ذات نقاوة عالية وبمواصفات دقيقة جداً تلبي احتياجات نظم الألياف البصرية . تطورت طرق التصنيع وأصبح بالإمكان تصنيع التشكيلة الأولية بالترسيب وعلى هيئة طبقات يبلغ سمكها بضع مايكرونات وبمعامل إنكسار حسب الطلب باستخدام محاليل ذات نقاوة عالية وفي أجواء محكمة .

## الفصل الخامس

### أسئلة

- ١ - ماهي أول الطرق التي استخدمت لتصنيع الألياف البصرية وماهي عيوبها ؟
- ٢ - أذكر خمس طرق استخدمت لتصنيع الألياف البصرية ؟
- ٣ - ماهي المواد التي تصنع منها الألياف ؟
- ٤ - ماهو الشرط الأساسي للحصول على ليف صالح للاتصالات ؟
- ٥ - ماهي ميزات إنتاج الليف بالنظام الكيميائي المعدل . قارن بينها وبين التراكم الكيميائي بالبلازما ؟
- ٦ - لماذا لا تصنع الألياف من مادة السليكا الخام مباشرة ؟
- ٧ - أذكر تركيب المواد المستخدمة للحصول على زجاج عالي النقاوة ؟
- ٨ - لماذا يجب أن يكون معامل إنكسار اللب أكبر من معامل إنكسار الكساء ؟
- ٩ - هل هناك علاقة بين سرعة سحب الليف وسماكته ؟
- ١٠ - عند أي الأطوال الموجية يحصل أعلى امتصاص لأيونات  $\text{OH}^-$  ؟