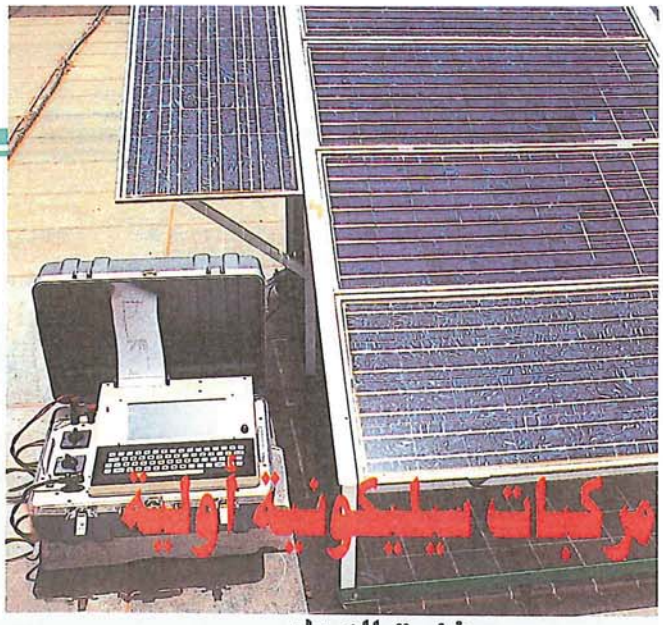


مركبات سيليكونية أولية

د. محمد شفيق الكناني

يعد السيليكون ثاني العناصر وفرة ـ بعد الأكسجين ـ في القشرة الأرضية ، إذ تبلغ نسبته حوالي ٢٥٪ وزناً ، ويوجد السيليكون في الطبيعة إما على شكل سيليكا حرة كالكوارتز والرمل والفلنت (الحجر الصوان) ، وإما على شكل سيليكات معادن مثل سيليكات الألمنيوم والحديد والمغنيسيوم .

يتم الحصول على السيليكون عالي النقاوة باختزال ثاني أكسيد السيليكون بالكربون ، ثم معالجة السيليكون الناتج بالكلور لتكوين رباعي كلوريد السيليكون الذي يختزل بالهيدروجين بعد تنقيته ، كما يمكن الحصول على السيليكون بدرجة نقاوة أعلى بطريقة الصهر الموضعي (Depositional Melting) .

وهناك عدة أشكال تجارية للسيليكون هي :ـ

١ـ الفيروسيليكون (FeSi) : وينقسم إلى ثلاثة أنواع طبقاً للنسبة المئوية لمحتواها من السيليكون وهي (FeSi-10) وتتراوح نسبة السيليكون فيه بين ٨٪ إلى ١٣٪ ، و (FeSi-90) بمحتوى سيليكون يتراوح بين ٨٧٪ إلى ٩٥٪ ، وسيليسيد (٦٠٪ إلى ٦٥٪ سيليكون) .

٢ـ سيليكون الصناعات التعدينية : وتتراوح نقاوته ما بين ٩٨,٥٪ إلى ٩٩,٧٪ .

٣ـ سيليكون الصناعات الإلكترونية : وتعتمد درجة نقاوة السيليكون ـ في هذه الحالة ـ على مجال استخداماته ، حيث تصل هذه النسبة غالباً إلى أكثر من ٩٩,٩٩٩٪.

يستخدم السيليكون في صناعات عضوية وغيرعضوية عديدة ، فبالإضافة إلى أهميته بصفة أساس في صناعة الأسمنت والزجاج والخزف ، فإنه يمكن استخدامه كمادة أولية في صناعات أخرى كثيرة منها الصناعات الإلكترونية ، والوصلات الضوئية ، والألياف البصرية ، وصناعة الطبقات الواقية والمقاومة للحرارة في أنظمة التسجيل بالليزر... وغيرها ، ومن المركبات السيليكونية التي يمكن استخدامها كمادة أولية في صناعات أخرى ما يلي :ـ

هيدرات السيليكون

يشكل السيليكون مع الهيدروجين هيدرات (سيلانات) ذات صيغة كيميائية عامة ($Si_n H_{2n+2}$) ، حيث تتراوح (n) بين واحد إلى ستة ، ويقع عنصر السيليكون في هذه السيلانات في مركز رباعي الوجوه مع وجود ذرات الهيدروجين على الرؤوس .

تمتاز السيلانات بأنها عديمة اللون ، وتزداد درجة غليانها بازدياد وزنها الجزيئي ، وهي مركبات غازية في درجة حرارة الغرفة ، جدول (١) ، كما أنها شديدة الفعالية فهي تتحلمأ وتتأكسد بسهولة ، وتشتعل السيلانات تلقائياً في الهواء .

● تحضير السيلانات

تحضر السيلانات بصفة عامة من تفاعل سيليسيد المغنيسيوم (Mg_2Si) مع ١٠٪ من حامض كلوريد الهيدروجين (HCl) عند درجة حرارة ٥٠°م ، حيث يتم الحصول على مزيج من السيلانات (من SiH_4 إلى Si_4H_{10}) ، والتي يمكن فصلها بعضها عن بعض بوساطة التجزيء تحت الضغط المنخفض (High Vacuum Fractionation) ، ومن جانب آخر يمكن تحضير أحادي سيلان (SiH_4) بشكل نقي من تفاعل سيليسيد المغنيسيوم مع كلوريد الأمونيوم في وجود غاز الأمونيا الجاف تحت ضغطه البخاري عند درجة حرارة الغرفة .

الخواص / السيلان	الوزن الجزيئي	درجة الانصهار(°م)	درجة الغليان(°م)
SiH_4	٣٢,١٢	ـ ١٨٥	ـ ١١٢
Si_2H_6	٦٢,٢٣	ـ ١٣٠	ـ ١٤,٥
Si_3H_8	٩٢,٣٣	ـ ١١٧	ـ ٥٣
Si_4H_{10}	١٢٢,٤٤	ـ ٩١	ـ ١٠٨

جدول (١) هيدرات السيليكون وبعض خواصها الفيزيائية .

● استخدامات السيلانات

تستخدم السيلانات في تشكيل طبقة من السيليكون أو مركباته على سطوح متنوعة منها :

* **سطوح العوازل :** ويتم ذلك بتسخين السيلانات وتفككها عند درجات حرارة تتراوح من ٤٥٠° إلى ٨٠٠°م تحت الضغط الجوي ، ثم تقسيتها وإعادة بلورتها باستخدام حزمة من الطاقة ، ومن أمثلة ذلك تفكك وتشكل السيليكا على سطوح العوازل باستخدام أحادي السيلان ، وذلك كما يلي :

$$SiH_4 \xrightarrow{450-800C^{o}} Si\downarrow + 2H_2$$

* **على صفائح تصويرية كهربائية (Electrophographic) :** ويتم ذلك بتوضع (Deposition) السيليكون اللابلوري الناقل ضوئياً (Photoconducting) على تلك الصفائح ، وذلك بتفكك السيلان بوساطة البلازما .

هاليدات السيليكون

تتميز هاليدات السيليكون (هالوجينو سيلانات) بأن بعضها مركبات غازية والأخرى سوائل عديمة اللون ،تدخن في الهواء ، وتتحلمأ (Hydrolysis) بسهولة ، ولها تأثير مخرش على الأغشية المخاطية ، وتشتعل هاليدات السيليكون ذات المحتوى المرتفع من الهيدروجين تلقائياً في الهواء .

تم تحضير ثمانية عشر مركباً من هاليدات السيليكون صيغتها العامة ($Si\ H_nX_m$) حيث(n+m=4) ، ويمكن استعراض أهم أنواع الهالوجينوسيلانات من حيث الصيغ

الجزيئية ، والخواص الفيزيائية والكيميائية ، وطرق التحضير ، والاستخدامات ، جدول (٢) ، فيما يلي :

● كلوريدات السيلان

تأتي كلوريدات السيلان على عدة أشكال منها مايلي : ـ

* **ثلاثي كلوروسيلان ($SiHCl_3$) :** ويعد من أهم هاليدات السيليكون ، ويتميز بما يلي :ـ

١ ـ أبخرته سريعة الاشتعال .

٢ ـ يشكل مزيجاً منفجراً مع الأكسجين .

٣ ـ تشتعل أبخرته عند تماسها بسطوح ساخنة.

٤ ـ يتفكك بالماء ويحرر الهيدروجين .

ـ طرق التحضير: وتتم باستخدام مصدرين أساسين هما :ـ

(أ) السيليكون : ويتم إما مباشرة أو على مرحلتين كالتالي : ـ

١ ـ مباشرة : وذلك بتمرير مزيج من كلوريد الهيدروجين (HCl) ، والهيدروجين عند درجة حرارة تتراوح من ٢٥٠ إلى ٤٠٠م فوق مركب الفيروسيليكون (FeSi-90) ـ محتوى مرتفع من السيليكون (٩٧٪) ـ أو فوق طبقة من السيليكون ممزوجاً مع كلوريدات الألمنيوم أو النيكل أو النحاس في مفاعل ذو طبقة ثابتة ، ثم تبرد النواتج بسرعة ـ بعد انتهاء التفاعل ـ في زمن أقل من ثانية واحدة

المركبات / الوزن الجزيئي	الوزن الجزيئي	درجة الانصهار(م)	درجة الغليان(م)
SiH_3F	٦٩,١٢	-	٩٨,٦ـ
SiH_2F_2	١٠٦,١١	١١٩,٠ـ	٧٧,٥ـ
$SiHF_3$	١٤٢,١٠	١٣١,٠ـ	٩٧,٥ـ
SiF_4	١٨٠,٠٩	٩٠,٢ـ (٥)	٩٨,٦ـ
SiH_3Cl	٦٦,٥٧	١١٨,٠ـ	٣٠,٥ـ
SiH_2Cl_2	١٠١,٠١	١٢٢,٠ـ	٨,٥ـ
$SiHCl_3$	١٣٥,٤٥	١٢٤,٠ـ	٣٦,٥
$SiCl_4$	١٦٩,٨٩	٧٠,٠ـ	٥٧,٦
SiH_3Br	١١١,٠٤	٩٤,٠ـ	٢,٠
SiH_2Br_2	١٨٩,٩٥	٧٠,٠ـ	٦٦,٠
$SiHBr_3$	٢٦٨,٨٦	٧٣,٥ـ	١١٢,٠
$SiBr_4$	٣٤٧,٧٧	٥,٠	١٥٣,٠
SiH_3I	١٥٨,٠٢	٥٦,٥ـ	٤٦,٠
SiH_2I_2	٢٨٣,٩١	١,٠ـ	١٤٩,٥
$SiHI_3$	٤٠٩,٨٠	٨,٠	٢٢٠,٠
SiI_4	٥٣٥,٦٩	١٢١,٠	٢٩٠,٠

(٥) عند ضغط ١٧٥٣ ميلي بار .

● جدول (٢) أهم الهالوجينوسيلانات ، وبعض خواصها الفيزيائية .

للحصول على مردود مرتفع من ثلاثي كلوروسيلان ، وفقاً للتفاعل التالي : ـ

$$Si + 3HCl \longrightarrow SiHCl_3 + H_2$$

٢ ـ على مرحلتين : حيث يتم في المرحلة الأولى تفاعل السيليكون مع رباعي كلورو سيلان عند درجات حرارة تتراوح من ١١٠٠ إلى ١٣٠٠م ، ثم يعالج المنتج الناتج ـ في المرحلة النهائية ـ بكلوريد الهيدروجين ، وتتراوح نسبة تحول رباعي كلوروسيلان إلى ثلاثي كلروسيلان من ٥٠٪ إلى ٦٠٪ وفقاً للمعادلة التالية :ـ

$$3SiCl_4 + 2H_2 + Si \longrightarrow 2HSiCl_3$$

(ب) رباعي كلوروسيلان : ويحضر إما مباشرة أو على مرحلتين كما يلي :ـ

١ ـ مباشرة : ويتم بتفاعله مع الهيدروجين بنسبة مولية ١:٢ في مفاعلات ذات طبقة فوّارة في غياب السيليكون ، وفي درجات حرارة مختلفة هي ١١٠٠، و١٢٠٠، و١٥٠٠م بمردود ٢٧٪ ، ٣١٪، و٣٥٪ على التوالي ، وذلك وفقاً للمعادلة التالية :

$$SiCl_4 + H_2 \longrightarrow SiHCl_3 + HCl$$

٢ ـ على مرحلتين : حيث يتم في المرحلة الأولى تفاعل رباعي كلوروسيلان مع الهيدروجين في مفاعل عند درجة حرارة ١٠٥٠ ـ ١٢٥٠م ، وفي المرحلة الثانية يبرد مزيج التفاعل الناتج عن المرحلة الأولى إلى درجة حرارة ٢٥٠ ـ ٣٥٠م ، ثم يتم تفاعل المزيج عندئذ مع السيليكون ـ في مفاعل آخر ـ معطياً مزيجاً آخر يحتوي على ٣٨٪ من ثلاثي كلوروسيلان و ٦١٪ من رباعي كلوروسيلان .

ـ تنقية ثلاثي كلوروسيلان : وتتم عند استخدامه لإنتاج سيليكون عالي النقاوة من الشوائب ـ مثل كلوريدات الكالسيوم والألمنيوم والتيتانيوم والنحاس والمغنيسيوم والحديد والبورون والفوسفور ـ التي تبقى في السيليكون المتشكل وذلك بعدة طرق منها : ـ

١ ـ اختزال الشوائب إما بالهيدروجين أو بادمصاصها بواسطة أعمدة مملوءة بالسيليكا المنشطة أو كربون منشط أو في مبادلات أيونية أو بالتيتانيوم المسامي (Sponge Titanium) .

٢ ـ معالجة ثلاثي كلوروسيلان بمركبات كيميائية ـ تشكل معقدات معه ـ مثل حامض الثيوجليكوليك ، أو بيتا ـ نفثيل أمين أو أملاح من إيثيلين ثنائي أمين رباعي حامض الخل ،ثم استخلاص المنتج بسيانيد الميثان للحصول عليه بنقاوة عالية .

ـ استخداماته : وتتمثل في عدة أغراض صناعية منها :

١ ـ إنتاج السيليكون الشمسي (Solar Silicon) ، وطبقات من السيليكون اللابلوري بوساطة تحلل ثلاثي كلوروسيلان في وجود الهيدروجين .

٢ ـ إنتاج السيليكا التي تستخدم كمادة مالئة .

٣ ـ صناعة سيراميك نيتريد السيليكون .

٤ ـ معالجة سطح البورون أو البوريدات .

٥ ـ الطباعة على الشاشات (Screen Printing) .

* **رباعي كلوروسيلان ($SiCl_4$) :** وهو عبارة عن سائل شفاف عديم اللون ، يتميه بسهولة في الماء ، ـ منتجاً مركباً جيلاتينياً من (SiO_2) ـ ، وقابل للذوبان في بعض المذيبات العضوية مثل البنزين والإيثر والكلوروفورم والإيثير البترولي ، كما أنه يتفاعل مع الكحولات معطياً إسترات لحامض السيليسيك . ويشكل رباعي كلوروسيلان مركبات كيميائية من كلوريدات أكسي السيليكون ($SiOCl_2$) ـ سوائل لزجة عديمة اللون ـ عندما يتحلمأ بشكل جزئي بمزائج من الإيثر والماء .

ـ طرق التحضير : ـ وتتم صناعياً بعدة طرق منها :

(أ) كلورة الفيروسيليكون (>٩٠٪ سيليكون) أو السيليكون النقي : حيث يُغذى فرن التفاعل ـ عند درجة حرارة أعلى من ٥٠٠م ـ بكتل كبيرة من الفيروسيليكون فيتشكل رباعي كلوريد السيليكون ، مع بعض الكلوريدات الطيّارة (مثل كلوريد الحديد ، وكلوريد الألمنيوم) ، وغير الطيّارة (مثل كلوريد الكالسيوم) ، ومكونات أخرى غير مكلورة مثل أكسيد السيليكون .

تتم إزالة الكلوريدات غير الطيارة والمكونات غير المكلورة من وقت لآخر ، بينما تكثف الكلوريدات الطيارة بشكل جزئي بحيث تبقى درجة حرارة وعاء التجميع ثابتة عند درجة حرارة معينة تسمح بتقطير وتكثيف رباعي كلوروسيلان الناتج من عملية الكلورة .

وللحصول على مردود أعلى من رباعي كلوروسيلان يبرد المتبقي من شوائب الكلوريدات عند درجة حرارة ـ ٣٥°م ، ومن ثم يتم تنقية الناتج ($SiCl_4$) بعمليات التبخير ثم التكثيف ثم التقطير التجزيئي .

(ب) الكلورة : وتتم بتفاعل كربيد السيليكون (SiC) مع الكلور ـ يضاف أحياناً كمية قليلة من السيليكون لتنشيط التفاعل ـ في فرن عمودي مصنوع من الفولاذ أو من حرير الصب ومبطن بصفائح من الكربون ، ثم يكثف ناتج التفاعل في أنظمة تكثيف خاصة معطياً رباعي كلوروسيلان ، وذلك كما يلي :

$$SiC + 2Cl_2 \longrightarrow SiCl_4 + C$$

(جـ) من السيليكا والكربون والكلور : ويتم فيه مزج السيليكا النقية بكلوريدات معادن قلوية ترابية ـ مثل كلوريدات البوتاسيوم والكالسيوم ـ ومسحوق الكربون ، ومواد مخفضة لدرجة حرارة التفاعل مثل الرمل ، ثم تتم معالجة المزيج الناتج بالكلور عند درجة حرارة مرتفعة في مفاعل ذو طبقة ثابتة أو طبقة فوّارة ، يلي ذلك فصل نواتج التفاعل الغازية من المواد الصلبة الناتجة عن التفاعل ـ بواسطة جهاز فصل خاص ـ ثم تبرد في مبادلات حرارية حيث يكثف رباعي كلوريد السيليكون ، وتتم تنقيته بالتقطير ، وفقاً للمعادلة التالية :

$$SiO_2 + 2C + 2Cl_2 \xrightarrow{1400^{\circ}C} SiCl_4 + 2CO$$

ـ استخداماته : وتتمثل بصفة أساس في الحصول على سيليكون (Si) عالي النقاوة جداً ، وذلك إما بالتفكك الحراري للسيلان المذكور في وجود الهيدروجين أو بواسطة التحلل باللهب ، كما يستخدم أيضا لتغطية سطوح المعادن بالسيليكون المقاوم للتآكل مثل الفولاذ والحديد والموليبدنوم (Mo) ، والتنجستن (W) ، والتنتالوم (Ta) وذلك بتسخين المعدن المراد تغطيته في جو من رباعي كلوريد السيليكون والهيدروجين أو رباعي كلوريد السيليكون بمفرده عند درجة حرارة تتراوح بين ١٠٠٠ إلى ١٤٠٠°م ، وذلك وفقاً للتفاعلين التاليين :

$$SiCl_4 + 2H_2 \longrightarrow Si + 4HCl$$

$$SiCl_4 \xrightarrow{1000 - 1400^{\circ}C} Si + 2Cl_2$$

*** سداسي كلوروثنائي سيلان (Si_2Cl_6) :** ويصنع بعدة طرق منها مايلي :ـ

(أ) كلورة الفيروسيليكون (بمحتوى سيليكون ٥٠٪) : وتتم العملية عند درجة حرارة ١٦٠°م في مفاعل أنبوبي فينتج عن ذلك ٥٥٪ وزناً من سداسي كلوروثنائي سيلان ، و٤٤٪ وزناً من رباعي كلوروسيلان ، مع نسبة تحول للفيروسيليكون تصل إلى ٧٠٪ ، بالإضافة إلى ذلك تحتوي النواتج على بولي كلورو بولي سيلانات التي يمكن فصلها وتفككها بواسطة الكلور في مفاعل ذو طبقة فوّارة عند درجة حرارة ٢٥٠ ـ ٤٥٠°م لتعطي مزيداً من سداسي كلوروثنائي سيلان وذلك وفقاً للتفاعل التالي :

$$2Si_3Cl_8 + Cl_2 \longrightarrow 3Si_2Cl_6$$

(ب) كلورة السيليكون في الطور السائل (Liquid Phase) : ويتم ذلك عند درجة حرارة ، ١٥٠°م ، وفي وجود مادة محفزة تحتوي على كلوريدات الصوديوم والبوتاسيوم والزنك ، ينتج عن تفاعل الكلورة المذكورة مزيجاً مكوناً من رباعي كلوروسيلان (Si_2Cl_4) ، وسداسي كلورو ثنائي سيلان (Si_2Cl_6) ، ورباعي كلورو ثنائي سيلان ($Si_2H_2Cl_4$) بنسب وزنية ١٢:١٧:١١ على التوالي ، حيث يتم فصلها بعضها عن بعض بطريقة التقطير التجزيئي للحصول على المنتج المطلوب .

ـ الاستخدامات : وتتمثل في عدة عمليات صناعية منها :

١ـ الحصول على دقائق ناعمة من السيليكون النقي .

٢ـ توضع (Deposition) عنصر السيليكون على صفائح الكوارتز ـ المستخدمة في الصناعات الإلكترونية ـ أو تكسية الألياف البصرية . وتتم العمليات الصناعية السابقة بوساطة التحلل الحراري للمركب المذكور .

*** كلوريدات سيليكونية أخرى :** ومنها سداسي كلورو ثنائي سيلوكسان ـ $(Cl_3Si)_2O$ ـ ويحضر بتفاعل رباعي كلورو سيلان مع ثلاثي أكسيد الكبريت عند درجة حرارة ٥٠٠°م . وفقاً للتفاعل التالي :

$$SiCl_4 + SO_3 \longrightarrow (Cl_3Si)_2O + SO_2 + Cl_2$$

ويستخدم سداسي كلوروثنائي سيلوكسان للحصول على كلوروسيلانات أخرى كما في التفاعل التالي :

$$4SiCl_4 + O_2 \xrightarrow{1000 - 1400^{\circ}C} 2(Cl_3Si)_2O$$

$$\xrightarrow{HCl + Si,\ 650^{\circ}C} 2SiHCl_3 + 2SiCl_4 + SiO_2$$

$$\xrightarrow{800^{\circ}C} SiO_2 + 3SiCl_4$$

● بروميدات السيلان

تشكل البروميدات مع السيليكون عدة بروموسيلانات منها :ـ

*** رباعي بروموسيلان ($SiBr_4$) :** وهو عبارة عن سائل عديم اللون ينصهر عند درجة حرارة ٥°م ، ويغلي عند درجة حرارة ١٥٣°م ، ويتم الحصول عليه من تفاعل السيليكون مع البروم في الطور البخاري عند درجات حرارة أعلى من ٦٠٠°م وذلك كما يلي :ـ

$$Si + 2Br_2 \xrightarrow{600^{\circ}C} SiBr_4$$

يستخدم رباعي بروموسيلان كمادة خام في صناعة السيليكون ومركباته منها مايلي :

ـ صناعة الألياف السيليكونية ، وسيليكون الناقل الضوئي .

ـ صناعة طبقات من السيليكون النقي بتوضعه بواسطة التحلل الكهربائي للمركب في محلول من رباعي بروميد السيليكون ، في وجود مذيبات عضوية بروتونية (Protic) .

ـ إنتاج ثلاثي بروموسيلان ($SiHBr_3$) بتفاعل السيليكون مع رباعي بروموسيلان عند درجة حرارة ٦٠٠ـ٨٠٠°م في جو من الهيدروجين .

ـ إنتاج نيتريد السيليكون (Si_3N_4) الذي يستخدم كطلاء أو لسد مسامات الأجسام الصلبة وذلك بتعرضها لبخار رباعي بروموسيلان ($SiBr_4$) ، ثم تفاعلها مع الأمونيا .

ـ إنتاج شعيرات من أكسيد القصدير (SnO_2) .

ـ النقش (Etching) على الألمنيوم وخلائطه المعدنية .

● يودات السيليكون

تأتي يودات السيليكون على أشكال منها :ـ

*** يوديد السيليكون (SiI_4) :** وهو عبارة عن مادة بلورية حساسة جداً للإماهة ، وتنصهر عند درجة حرارة ٢١°م، وتتفكك إلى عناصرها إما بالتسخين أو عند تعرضها للضوء ، كما أنها تتفاعل مع الأكسجين عند درجات حرارة مرتفعة محررة اليود .

تتم صناعة يوديد السيليكون بمرور غاز خامل مثل (غاز النيتروجين) مشبع ببخار اليود وذلك إما على سيليكون يحتوي على ٤٪ من النحاس عند درجة

حرارة ٦٠٠-٧٠٠م، وإما فوق حبيبات من السيليكون عند درجة حرارة ١١٥٠ - ١٢٠٠م، وفقاً للتفاعل التالي:

$$Si + 2I_2 \longrightarrow SiI_4$$

تستخدم يودات السيليكون بصفة أساس في الحصول على سيليكون بنقاوة عالية جداً - يدخل في صناعة الخلايا الشمسية، وكمادة خام في السبائك المعدنية الخزفية والألياف البصرية - وذلك بتفككها حرارياً في وجود الهيدروجين، أو بتحللها كهربائياً في مذيبات لابروتونية (Aprotic).

● **سلفيدات السيليكون**

تأتي سلفيدات السيليكون المستخدمة في الصناعات اللاعضوية على أشكال عدة أهمها:-

* **سلفيد السيليكون** (SiS_2) : وهو عبارة عن شعيرات بيضاء اللون - تشبه شعيرات الأسبستوس - تتحلمأ بسهولة، وتنصهر عند درجة حرارة ١٠٩٠م، وتتسامى عند درجة حرارة ١١٣٠م.

- **طرق التحضير** : وتتم بعدة تفاعلات منها ما يلي :

١- تفاعل السيليكون والكبريت عند درجة حرارة ١١٠٠ - ١٣٠٠م.

٢- تفاعل السيليسيدات وذلك إما مع الكبريت عند درجة حرارة أعلى من ٧٠٠م، أو مع كبريتيد الهيدروجين عند درجة حرارة ١١٠٠-١٢٠٠م، ويستعاد (SiS_2) المتشكل من مزيج التفاعل بعملية التسامي (Sublimation).

٣- التفكك الحراري لإسترات حامض ثيو السيليسيك (مثل الإستر الإيثيلي) عند درجة حرارة ٣٠٠م، كما في التفاعل التالي :

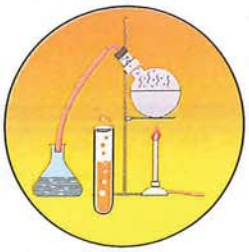
$$Si(SC_2H_5)_4 \xrightarrow{300^{\circ}C} SiS_2 + 2C_2H_5SC_2H_5$$

- **الاستخدامات** : وتتمثل بصفة أساس فيما يلي :

١- تحضير نتريد السيليكون وذلك بتفاعله (SiS_2) مع الأمونيا عند درجات حرارة تتراوح ما بين ٨٠٠ إلى ١٤٠٠م.

٢- نزع بعض المركبات السيليكونية في عمليات التنقية، فعلى سبيل المثال يمكن الحصول على أكسيد زركونيوم نقي بواسطة تحول شوائب السيليكا الموجودة مع الأكسيد وذلك بتفاعلها مع الكربون عند درجة حرارة ٣٠٠م، كما في التفاعل التالي :

$$(SiO_2, ZrO_2)+C+S \longrightarrow SiS_2 + CO_2+ZrO_2$$



قضايا علمية

الهندسة الوراثية وتوقعات المستقبل

الهندسة الوراثية هي تقنية يتم فيها إعادة تنظيم وتوليف الجهاز الوراثي للخلية الحية - المورث (Gene) - والمتمثل في الحامض النووي منقوص الأكسجين (DNA) ، وذلك لاكساب تلك الخلية ميزات أو صفات جديدة .

تعد عملية التنسيل(Cloning) أحد مفاهيم الهندسة الوراثية الهامة ، وفيها يتم الحصول على نسائل أو نسخ وراثية متطابقة ، وذلك من خلايا نشأت من عدة انقسامات متتالية لخلية واحدة حية بطريقة لا جنسية .

وهذا المفهوم لا يعني كلمة الاستنساخ - التعبير الشائع لعملية التنسيل - حيث أن الاستنساخ(*) عبارة عن جزئية قليلة من عمليات الهندسة الوراثية .

أمكن الاستفادة من عملية التنسيل في العديد من التطبيقات الزراعية والصناعية ، حيث أمكن مثلاً إدخال صفات وراثية مرغوبة وإزالة صفات غير مرغوبة في الكثير من النباتات ، كما أمكن بواسطتها تصنيع بعض الأدوية والطعوم باستخدام بعض الميكروبات .

وقد امتدت يد العلماء للعبث بالحيوان بإجراء عملية التنسيل عليه ، فبعد ٢٧٧ محاولة فاشلة تمكن عالم الهندسة الوراثية الدكتور **إيان ويلموت** (Ian Wilmut) وفريقه من معهد روسلن (Roslin) بادنبره وبالتعاون مع شركة (PPL Therapeutics) تنسيل نعجة أطلق عليها دوللي (Dolly) باستخدام خلايا جسدية من نعجة أخرى ، وتتلخص هذه العملية ، شكل (١) في الخطوات التالية :

١ - أخذ خلية جسدية من ضرع نعجة (أ) ووضعها في محلول مغذي خفيف جداً يسمح لها بالبقاء - بكامل مورثاتها - ولكن لايعزز قدرتها على التكاثر أو الانقسام (تجويع الخلية).

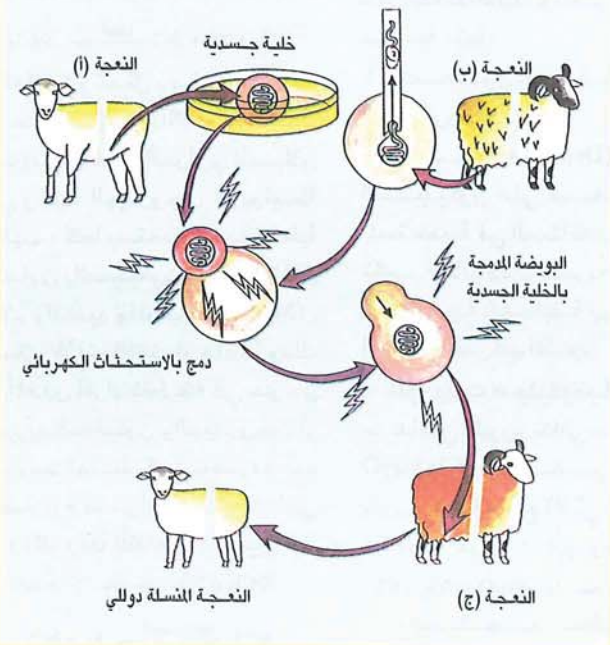
٢ - أخذ بويضة كاملة غير ملقحة يوجد بها نصف عدد الصبغات (Chromosomes) من رحم نعجة (ب) ، .

٣ - إزالة العوامل الوراثية من نواة البويضة المعزولة للنعجة (ب) لاستبعاد مخزونها الوراثي بأكمله .

٤ - استخدام اسلوب جديد يعتمد على الشحنة الكهربائية يتم فيه الاندماج بين خلية جسدية غير جنسية وبويضة ، وذلك باستحثاث بويضة النعجة (ب) بالاندماج مع الخلية الجسدية للنعجة (أ) - والتي تحتوي على كامل مورثاتها - لإنتاج البويضة المدمجة بالخلية الجسدية .

٥ - انقسام الخلية المدمجة بالخلية الجسدية بوساطة الشحنة الكهربائية لتكوين جنين أولى (مشيج) ونقله ووضعه في رحم نعجة (ج) بعد ستة أيام .

٦ - ولادة النعجة (ج) للنعجة دوللي التي تطابق النعجة (أ) نظراً لأن المخزون الوراثي الوحيد للنعجة دوللي كان من النعجة (أ) دون



شكل (١)

(*) الاستنساخ (Transcription) عبارة عن تكوين جزئي أو أجزاء من أحماض ريبوسومية مثل (mRNA) و (tRNA) و (rRNA) بوساطة قالب من الحامض النووي منقوص الأكسجين (DNA Template) أثناء عملية البناء الحيوي .

أن تختلط بعوامل وراثية أخرى .

الاخصاب في الحيوانات الثديية

إن كل خلية كاملة النمو في الحيوان الثديي ، عبارة عن كائن حي يحتوي على قائمتين كاملتين من الصبغيات (الكروموسومات) واحدة مصدرها الذكر والأخرى من الأنثى ، وبإستثناء الخلايا الجنسية في الذكر والأنثى - خلايا النطاف عند الذكر والبويضات عند الأنثى ، حيث يحتوي كل منهما على قائمة واحدة فقط من الصبغيات - فإن كل صبغي في الجنين المتكون من تلقيح الحيوان المنوي للبويضة عبارة عن صبغي مزدوج من الأبوين نتيجة تضاعف صبغي الذكر بقرينه من الأنثى ، وبهذا تتضاعف أيضاً عملية تبادل العوامل الوراثية وإندماج تلك الأنماط الوراثية المحتملة في الذرية بشكل كبير ، مما ينجم عنه هذا التنوع الكبير الذي نلحظه حتى بين الإخوة من غير التوائم الحقيقية ، وينسحب هذا الوصف على كل أشكال الحياة في الأرض .

● التطبيقات الممكنة للهندسة الوراثية

ينفذ حالياً ومنذ شهر مايو ١٩٨٥م برنامجاً دولياً - تنفذه منظمة دولية أطلق عليها « منظمة الكتلة الوراثية البشرية (HUGO) » - تشترك فيه كل من الولايات المتحدة واليابان وفرنسا وألمانيا وبريطانيا وكندا وإيطاليا - والتي هي مختصر كلمتي (Human Genome) أو المخزون الوراثي البشري . يهدف البرنامج إلى معرفة سَلْسَلَة وتتابع المكونات الأساسية للعوامل الوراثية في الإنسان ، أي بمعنى آخر سيوفر هذا البرنامج المعرفة الكاملة بخريطة العوامل الوراثية في الإنسان (خريطة المورثات أو الجينات) . كان من المتوقع إنجاز هذا المشروع خلال خمسة عشر عاماً إلا أنه تبين أن ربع قرن على الأقل هو الحد الأدنى لإنهائه إذ لم ينجز منه حتى الآن - وفق أحدث التقارير - أكثر من ٢٠٪ ، كما أنه سيكلف أكثر من ٥ بليون دولار أمريكي (تشير تقديرات أخرى إلى أكثر من ضعف هذا المبلغ) .

ويعد المشروع أكبر مشروع بيولوجي طموح في التاريخ حيث يعمل فيه آلاف العلماء لانجازه ولم يعد يطلبون سوى الوقت والمال ، ويتوقع أن تغطي مدونته بعد إنهائه أكثر من مليون صفحة مطبوعة جميعها في حاسب آلي فائق القدرة .

يتمثل الدافع المباشر المعلن للبرنامج في المساعدة على حل ومعرفة تشفير العوامل الوراثية في الإنسان ، ومن ثم معرفة المورثات التي يوجد بها خلل أو نقص والتي يتسبب عنها الأمراض الوراثية ، ولقد تم تحديد العديد من مثل هذه الأمراض ، مثل تحديد المورثات المسؤولة عن فقد البصر ، وبعض أنواع السرطانات (الثدي ، الدم ، القولون) وأمراض أخرى ، وتشير أحدث التقارير التي تم الإعلان عنها - وغير الموثقة - أنه قد تم تحديد مورثات مسؤولة عن أمراض سلوكية مثل الشذوذات الخُلقية ، أو المسالك الإجرامية غير أن هذه التقارير لم يتم توثيقها بعد .وتتمثل التطبيقات التي تم تحقيقها حالياً في الهندسة الوراثية في إدخال المورثات المسؤولة عن النمو وما أدى إليه من إنتاج أجنة فئران بحجم الجرذان ، وكذلك هرمونات إدرار اللبن في الأبقار (BST) وما نجم عنه من زيادة إدرارها بمعدل ٢٥٪ دون تغيير للعليقة الغذائية ، وأنواع التقنيات المختلفة للمورثات والتلاعب فيها (تطعيم وترقيع ودرز) ، إضافة إلى الإختراق الأخير الذي نجم عنه النعجة (دوللي) وضع اللمسات الأخيرة على خارطة المورثات البشرية ، وقد إنعكست تلك التطبيقات على تطور مذهل في سوق الإستثمارات المالية وعلى جداول أسواق البورصات العالمية ، ففي عام ١٩٩١م كان عدد الشركات العاملة في مجالات التقانات الحيوية (٣٦) شركة بلغ ريع صناعتها أربعة بلايين من الدولارات ، إرتفع في العام الحالي إلى أكثر من أربعين بليون ، كما تشير الأرقام المؤكدة لقياس النمو الإقتصادي إلى أنها ستصل في غضون ثلاثة سنوات - بحلول عام ٢٠٠٠م - إلى ستين بليون دولار .

● الإستنتاجات

١ - يستنتج من كل ما سبق ذكره أن قدرة الله عز وجل في الكائنات الحية وخلقها وتكوينها هي من صفات الخالق الباري وحده ، والإختراق العلمي الذي تحدثنا عنه في إنسال النعجة دوللي ، تم إنجازه على كائنات خلقها الله بفضل العقل البشري الذي خلقه الله وأودعه إلى الإنسان وعلمه ما شاء له أن يعلمه بعد أن حث الله على العلم والمعرفة والتدبر والتفكير في خلق الله وليس لمحاولة تغيير خلقه لان هذا ضلال ﴿ ولأضلنهم ولأمنينهم ولآمرنهم فليبتكن آذان الأنعام ولآمرنهم فليغيرن خلق الله .. ﴾ [سورة النساء : الآية ١١٩] .

٢ - إن علم الهندسة الوراثية هو ما علَّم الله الإنسان وبفضل منه وبما أتاح له أن يعرفه بعد علم وبحث ودراسة ، وستؤتي ثمار هذا العلم إن شاء الله في ثلاثة مجالات أساسية لصالح الإنسان والبشرية وهي :

*** المجالات الطبية** وتتمثل في:

- إستجلاء كنه المورثات المسببة للأمراض : حيث تم حتى الآن تحديد بعض المورثات المسببة لبعض الأمراض السرطانية مثل سرطان الدم ، وسرطان القولون .
- إكتشاف الأمراض الوراثية الخطيرة في الأجنة البشرية عن طريق فحص المورثات مما سيسهل تقديم العلاجات الكافية في مراحل مبكرة للمريض قبل إنتشاره .
- إنتاج الأدوية والطعوم عن طريق الميكروبات بإستخدام طرق الهندسة الوراثية ، وقد تم إنتاج الجيل الأول من هذه الأدوية وعددها ٥٠ دواء - منها ٢٠ دواء يتم حالياً تداولها في الأسواق .
- إنتاج الأنزيمات ، الفيتامينات ، اللقاحات ، الأمصال ، مضادات الأجسام أحادية النسل ، إنتاج الأحماض الأمينية والقلويدات ، وكواشف التشخيص .
- إنتاج الإنترفيرون .

*** المجالات الزراعية والبيطرية** ومنها :

- إنتاج سلالات وأنواع من محاصيل غذائية (خضار ، فواكه .. حبوب) مقاومة للتلف وللظروف البيئية مثل الصقيع ، أو الإصابة بالحشرات (الذرة ، فول الصويا) ، ويمكن تخزينها لوقت أطول مثل الطماطم ، والبطاطا .
- زيادة إنتاج المحاصيل المعروفة وتخفيف تكاليف الإنتاج .
- إنتاج محاصيل ذات قيمة غذائية أكبر مثل محاصيل أغنى بالبروتين ، محاصيل تعطي زيوتاً أكثر وأفضل نوعية وأكثر تشبعاً .
- إنتاج نباتات علفية ذات قيمة غذائية أعلى ومزايا هضمية أفضل .
- تخفيف إحتياجات النباتات للأسمدة عن طريق تثبيت النيتروجين الجوي في التربة بواسطة بكتيريا العقد الجذرية المثبتة للنيتروجين .
- إنتاج وتطوير سلالات أكثر قدرة أو قليلة الإحتياجات المائية ، أو تتحمل المياه المالحة أو الجفاف أو الرطوبة .
- إستيلاد مواشي أكثر مقاومة للأمراض .
- زيادة إدرار الحليب وإنتاجه في الأبقار بإستخدام الهرمونات .
- إنتاج اللقاحات التي تمنع حدوث الأمراض الشائعة التي تعاني منها المواشي .
- معالجة الأمراض الشائعة في الأبقار مثل إلتهاب الضرع والإصابة بالطفيليات .

*** المجال الصناعي** ويتمثل في:

- إستخلاص المعادن وتصنيعها وتنقيتها وترشيحها .
- تحسين صفات الكائنات الحية الدقيقة المستخدمة في عمليات إنتاج مواد الطاقة (الإيثانول ، الميثان) .
- إنتاج البروتينات وحيدة الخلية من المشتقات البترولية .
- إنتاج مواد كيميائية وصناعية مثل المواد الحافظة ، مواد تحسين الطعم والنكهة والذوق ، أحماض عضوية ذات قيمة صناعية عالية .