مجموعة التيتانيوم

تشمل هذه المجموعة على ثلاثة عناصر وهي التيتانيوم، الزركونيوم والهافنيوم والتركيب الإلكتروني لهذة المجموعة كما يلي:

حالات الأكسدة	التركيب الألكتروني	العنصر	
£+ , \(\mathcal{P}\)+ , \(\mathc	[Ar] 3d ² 4s ²	Ti	التيتانيوم
£ + . \(\mathrea\) + . \(\mathrea\)	[Kr] 4d ² 5s ²	Zr	الزركونيوم
٤+ ، ٣+	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	Hf	الهافنيوم

حالات الأكسدة:

• حالة الأكسدة الأكثر شيوعاً واستقرارا هي حالة الأكسدة + 3 والطاقة اللازمة لنزع عدد أربعة إلكترونات من الذرة تكون كبيرة والمركبات اللامائية مثل TiCl4 مركب تساهمي.

وفي هذه الحالة فإن الإلكترونين الموجودين في كل مدار 5 ، 5
 يشاركان مع الذارات الأخرى لتكوين روابط تساهمية ويكون الشكل الهندسي لها هرم رباعي الأوجة والأكاسيد 2 Mأكاسيد أيونية ولكنها لا تذوب في الماء والأيون 4 Mلا يوجد في المحاليل.

حالة الأكسدة + ٤

• في هذه الحالة تأخذ العناصر التركيب الإلكتروني • bوهذا يعني أن أيونات العناصر تكون ثنائية المغناطيسية وتكون بيضاء أو عديمة اللون لعدم وجود أي انتقال إلكتروني بين مدارات b الفرعية.

حالة الأكسدة +٣

• تعتبر العناصر في هذه الحالة عوامل مختزلة ويكون أيون التيتانيوم الثلاثي التيائيوم الثلاثي التنائي 5n+2 عاملاً مختزلاً أقوى من أيون القصدير الثنائي وتكون مركباتها مستقرة وتوجد في الحالة الصلبة والسائلة.

وحيث أن حالة الأكسدة +٣ تحتوي على التركيب الإلكتروني d1لذلك تحتوي على التركيب الإلكتروني d1لذلك تحتوي على إلكترون واحد وتكون أحادية المغناطيسية ومركباتها مواد ملونة والعزم المغناطيسي لمركباتها يساوي 1.73 بوهر ماجنتون

• مما يدل على وجود إلكترون واحد ويوجد احتمال واحد فقط للانتقال الإلكتروني حيث توجد حزمة ضوئية واحدة في مجال الأشعة المرئية وتأخذ مركباتها اللون الأزرق البنفسجي.

حالة الأكسدة +٢

• وهي حالة غير مستقرة وتكون عوامل مختزلة قوية وتختزل الماء والمركبات القليلة منها توجد في الحالة الصلبة فقط أما حالات الأكسدة المنخفضة مثل(0)،(1)،(0) توجد في متراكبات ثنائي البريديل مثل [$Ti^{\circ}(dipy)_{3}$]، [$Ti^{-1}(dipy)_{3}$] ، $Ti^{-1}(dipy)_{3}$ ، $Ti^{-1}(dipy)_{3}$. Li_{2}

• حالات الأكسدة المنخفضة تميل إلى التفكك بالحرارة إلى حالات الأكسدة المرتفعة والمنخفضة مثل

$$2 \operatorname{Ti^{III}Cl}_{3} \xrightarrow{heat} \operatorname{Ti^{IV}Cl}_{4} + \operatorname{Ti^{II}Cl}_{2} \bullet$$

$$2 \operatorname{Ti^{II}Cl_{2}} \xrightarrow{heat} \operatorname{Ti^{IV}Cl_{4}} + \operatorname{Ti^{o}}$$

الحجم

• يزداد نصف القطر التساهمي والأيوني عادة من التيتانيوم إلى الزركونيوم ولكن الزيادة المتوقعة في الحجم من الزركونيوم إلى الهافنيوم تتلاشى تماما نتيجة النقص في الحجم الذي يحدث نتيجة امتلاء المستوى 4f والذي يسمى إنكماش اللانثاتيدات.

• وحيث أن حجم الزركونيوم والهافنيوم متماثل تماما ولهما نفس التركيب الإلكتروني والخواص الكيميائية متماثلة تماما لذلك فإن فصل العنصرين عن بعضهما البعض يكون صعب ويمكن فصلهما باستخدام المبادلات الأيونية لمحاليل كحولية لرباعي الكلوريدات على أعمدة السيليكاجيل

- والتي تعتبر من أحسن الطرق للفصل.
- وعند غسيل العمود باستخدام مخلوط الكحول وحمض الهيدروكلوريك ينفصل الزركونيوم أولا ويبين الجدول التالي بعض الخواص العامة للمجموعة.

النشاط الكيميائي والسلوك المناعي للعناصر:

• عناصر هذه المجموعة غير نشطة كيميائيا عند درجات الحرارة المنخفضة وذلك نتيجة تكون طبقة رقيقة على السطح من أكسيد الفلز كما أنها لا تتأثر بالأحماض أو القواعد عند درجة حرارة الغرفة (25°c).

• ويذوب التيتانيوم ببطء في حمض الهيدروكلوريك المركز ويعطى أيون 3-Ti ويذوب في حمض الكبريتيك معطيا أكسيد التيتانيوم المائي ${
m TiO}_2({
m H_2O})_2$ والماء الملكي

• وأحسن مذيب لكل هذه العناصر هو حمض الهيدروفلوريك نتيجة لتكوين متراكبات الفلورو السداسية.

$$Ti + 6HF \rightarrow H_2[TiF_6] + 2H_2$$

• وعلى عكس ذلك يزداد النشاط الكيميائي بارتفاع درجة الحرارة أعلى من ٦٠٠ ٥٥ وتتفاعل مع الأكسجين مكونة أكاسيد لها التركيب الكيميائي . МОوتتفاعل مع الهالوجينات مكونة الهاليدات التي تأخذ التركيب الكيميائي MX وتتفاعل مع النيتروجين مكونة النيتريدات MNومع الكربون مكونة كربيدات MC بالتفاعل المباشر بين العناصر.

مثل مجموعة السكانديوم فإن بودرة الفلزات تمتص الهيدروجين والكمية الممتصة تعتمد على درجة الحرارة وضغط الغاز والمركبات الناتجة لها التركيب الإلكتروني .MH. الهيدريدات الناتجة تكون مستقرة في الهواء ولاتتأثر بالماء على عكس سلوك هيدريدات السكانديوم الأيونية وعناصر المجمع .S.

مركبات التيتانيوم الرباعي (Ti⁺⁴) الأكاسيد، أيون الأكسى والفوق أكسيد

• تكون عناصر هذه المجموعة أكاسيد ثنائية أيونية مستقرة جداً مثل MO₂ MO₂ المتعاللي لا تذوب في الماء وغير متطايرة وأكسيد التيتانيوم TiO₂ وغير متطايرة وأكسيد التيتانيوم وروية مختلفة تسمى الروتيل ، أناتاس والبروكيت وخام الروتيل هو الأكثر شيوعاً وتحاط كل ذرة تيتانيوم بعدد ستة ذرات أكسجين مكونة هرم ثماني الأوجه المنتظم.

• ويكون الشكل الهندسي للاثنين الآخرين هو هرم ثماني الأوجه المشوه (المنبعج). ويستخدم أكسيد التيتانيوم TiO، كبيرة كصبغة بيضاء في الطلاء وإطفاء لمعان الألوان. إنه أفضل عشرة مرات من الرصاص الأبيض لهذا الغرض وله ميزة أنه غير سام (حوالي ٠٠٠٠ طن تستخدم في الولايات المتحدة سنويا) ويستخدم أيضا في إطفاء لمعان النايلون .

ويمكن الحصول على أكسيد التيتانيوم ${
m TiO}_2$ عن طريق تنقية خام الروتايل أو من رباعي كلوريد التيتانيوم حيث يتم تميؤ ${
m TiCl}_4$ الى الأوكسي كلوريد وأخيرا إلى الأكسيد المائي .

 $TiCl_4 + H_2O \stackrel{\text{\tiny 2--}}{\longrightarrow} TiOCl_2 \stackrel{\text{\tiny 2--}}{\longrightarrow} TiO_2(H_2O)_n$

• رباعي هيدروكسيد التيتانيوم $_{4}^{+}$ $_{4}^{+}$ نزع الماء منه ونحصل على الأكسيد المائي.

• تزداد الخواص القاعدية للأكاسيد بزيادة العدد الذري حيث يكون TiO₂ تزداد الخواص القاعدية للأكاسيد بزيادة العدد الذري حيث يكون أكسيد أكسيد متردد (أمفتوري) HfO₂ (كاسيد أكثر قاعدية ويذوب أكسيد التيتانيوم TiO₂ في كل من الأحماض والقواعد مكونا تيتانات ومركبات التيتانيل.

Tioso₄ COUC. H₂ SO₄ TiO₂(H₂O)_n COUC. NAHO Na₂TiO₃(H₂O)_n •



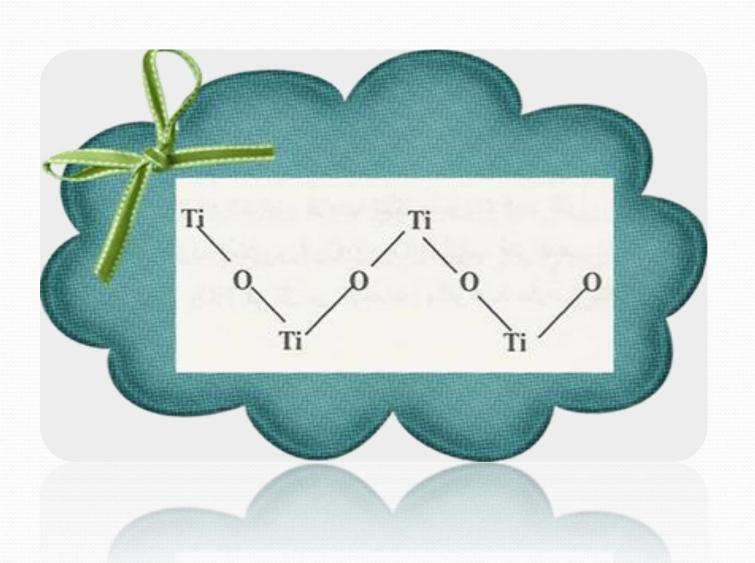


• ويمكن تحضير التيتانات اللامائية Na₂Ti₂O₅ ،Na₂TiO₃عن طریق انصهار أکسید التیتانیوم TiO2مع کربونات أو هیدروکسیدات الفلز وتوجد تيتانات الكالسيوم في خام البروفسكيت (Perovskite) والإلمنيت FeIITiO₃ معروف أيضا ويسمى تيتانات الحديدوز وتأخذ تيتانات الباريوم BaTiO₃شكل البروفسكيت وهي مهمة الأنها توصل التيار الكهربي.

• أكسيد الزركونيوم هو أكسيد قاعدي ولا وجود للزركونات. ويمكن تكوين الزركونات عن طريق تسخين أكسيد الزركونيوم 2۲Oء عن طريق تسخين أكسيد الزركونيوم أكاسيد الفلزات الأخرى مثل أكسيد الكالسيوم CaO عند درجة حرارة ٢٥٠٠-٥٠ م ويشبه (CaZrO).

• وعند تسخين أكسيد الزركونيوم $2rO_2$ يتحول إلى مادة صلبة جدا درجة انصهارها عالية جدا ٢٧٠٠ م ومقاومة لمهاجمة المواد الكيميائية مما يجعلها مهمة في صناعة البوتقة التي تتحمل درجات الحرارة العالية وفي الأفران الحرارية.

- وعند تفاعل أكسيد التيتانيوم مع الأحماض فإنه لا يعطي أيون التيتانيوم الرباعي 1+4 ألمحاليل وذلك نظرا لكبر الشحنة ونصف القطر الأيوني وتتكون الأملاح القاعدية.
- وأيون التيتانايل لا يوجد في الصورة المنفردة 2+TiOولكنة يتبلمر مكونا سلسلة (TiO+2)كما في الشكل التالي:



- وبنفس الطريقة فإن أيونات 4+Zr+4 لاتوجد في المحاليل ويتبلمر أيضا أيون2+O-2.
 - ومن أهم مركبات الزركونيل هو مركب أكسي كلوريد الزركونيوم $ZrOCl_2$. $Zr_4(OH)_8(H_2O)_{16}$

• وهذا يستخدم في التحليل الوصفي لإزالة أي أيونات فوسفات التي تكون موجودة ويمكن لها أن تتداخل أثناء تحليل الفلزات وذلك نظراً لأن فوسفات الزركونيوم لا تذوب في الماء . والفوسفاتات الأخرى لمجموعة التيتانيوم لا تذوب أيضا في الماء.

• ومن الخواص المميزة لأيون التيتانيوم الرباعي (IV) Ti (IV) هي أنه يكون لون أصفر برتقالي داكن عند إضافة فوق أكسيد الهيدروجين H₂O₂ ويمكن استخدام هذا التفاعل في التقدير اللوني (الطيفي) لكل من أيون التيتانيوم الرباعي (Ti (IV) أو فوق أكسيد الهيدروجين ولكن سبب ظهور اللون غير معروف.

• ويتكون متراكب البيروكسي في وسط حامضي قلوي (pH=1) وهذا المتراكب يأخذ الشكل التالي $^+$ [$Ti(O_2).OH.(H_2O)_n$] حيث تكون مجموعة البيروكسي ثنائية المنح وعند قيم pH العالية يتكون متراكب بوليمري.

الهاليدات

- يمكن تحضير الهاليدات عن طريق الهالوجينات مع الفلز_
- ومن أهم الهاليدات هو ${
 m TiCl}_4$ ويمكن تحضيره صناعيا عن طريق تسخين أكسيد التيتانيوم ${
 m TiO}_2$ مع الكربون والكلور.

• ويمكن تحضير الهاليدات الأخرى للتيتانيوم من رباعي كلوريد التيتانيوم عن طريق التفاعل مع هاليد الهيدروجين.

 $TiCl_4 + 4HBr \rightarrow TiBr_4 + 4HCl$

• رباعي كلوريد التيتانيوم عديم اللون وثنائي المغناطيسية ومركب تساهمي وسائل مدخن. رباعي كلوريد الزركونيوم ZrCl₄ مادة بيضاء صلبة في الحالة الغازية جميع الهاليدات تكون هرم رباعي الأوجه.

• ويمكن الحصول أيضا على الشكل الهندسي للهرم ثماني الأوجه في الحالة الصلبة التي على شكل زجزاج صلب من سلاسل MX₆.

ويحدث تميؤ لجميع الهاليدات بسرعة في الماء وتدخن في الهواء الرطب. والفلوريدات تكون أكثر ثباتا عن طريق باقي الهاليدات الأخرى.

 $TiX \xrightarrow{H_2 \circ} TiOX_2 \xrightarrow{H_2 \circ} TiO_2(H_2O)_n$

• بزيادة كمية الماء فإن عملية التميؤ تتم إلى نهايتها كما في حالة تميؤ TiCl4 ولكن تميؤ TrCl4 لا يكتمل ويتوقف التفاعل عند تكوين أكسي كلوريد الزركونيوم ZrOCl2 حيث يكون أكثر استقرارا.

• وتعتبر الهاليدات الرباعية من المواد المستقبلة للإلكترونات لعدد كبير من المواد المائحة للإلكترونات وتكون عدد كبير من المتراكبات ثمانية الأوجه مثل

$$\mathrm{TiF}_{4} \stackrel{\boldsymbol{couc.}}{\longrightarrow} [\mathrm{TiF}_{6}]^{2-}$$
 متراکب مستقر \bullet

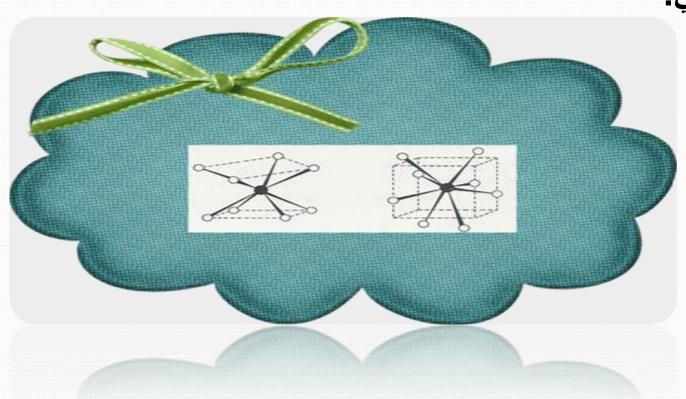
$$TiCl_4 \xrightarrow{couc. Hcl}$$
 [$TiCl_6$] حتراکب غیر مستقر • [$TiCl_6$] حتراکب غیر مستقر • $Cicl_6$

المرتبطات الأخرى وتشمل الفوسفين R_3 والأرزين R_3 وموانح الأكسجين R_2 وموانح النيتروجين مثل البريدين ،الأمونيا ،وثلاثي إيثيل الأمين والمتراكبات الناتجة تأخذ التركيب الكيميائي $TiX_4.L_2$ وتكون هرم ثماني في اتجاه واحد (cis) لبعضها البعض.

ويوجد عدد ضئيل من المتراكبات التي يكون عدد التناسق لها خمسة مثل، ${\rm Et_4N[Ti^{IV}Cl_5]}$ - ، ${\rm TiCl_4.AsH_3}$. والمتراكبات التي يكون فيها عدد التناسق سبعة قليلة أيضا مثل ${\rm Na_3[ZrF_7]}$.

ومن المركبات غير العادية أيضا مركب $\mathrm{Ti(NO_3)_4}$ حيث أن كل ذرتين أكسجين من كل مجموعة نيترات ترتبط مع التيتانيوم من خلال ثمانية روابط ومن المتراكبات الضئيلة والتي يكون فيها عدد التناسق ثمانية مثل $\mathrm{Na_4[ZrF_8]\cdot Na_4[HfF_8]}$

• ويمكن ملاحظة الشكل الهندسي لمتراكبات الفلوريد كما في الشكل التالي:



مركبات التيتانيوم الثلاثي (+Ti³)

- جميع مركبات حالة الأكسدة +٣ لها التركيب الإلكتروني الدلك الذلك تكون مركبات ملونة وأحادية المغناطيسية.
- التيتانيوم الثلاثي $^{+1}$ أكثر قاعدية من التيتانيوم الرباعي $^{+1}$ آثر قاعدية من الثلاثي $^{+1}$ تؤدي إلى ترسيب إضافة القلوي إلى محاليل التيتانيوم الثلاثي $^{+1}$ تؤدي إلى ترسيب $^{+1}$ $^{-1}$ وهذا الراسب $^{-1}$ $^{-1}$ وهذا الراسب لايذوب في الزيادة من القلوي.

• ويمكن تحضير الهاليدات الثلاثية بسرعة عن طريق إختزال مركبات رباعي هاليد التيتانيوم

$$TiCl_{4} \xrightarrow{\text{650°C}} TiCl_{3} \xrightarrow{H_{20}} \begin{cases} [Ti(H_{20})_{6}]^{3+} & + cl_{3} \\ Violet \\ [Ti(H_{20})_{5} \ cl]^{2+} & + cl_{2} \end{cases} \xrightarrow{Disprovortionate on heating} \xrightarrow{On heating} \begin{cases} TiCl_{4} \\ and \\ TiCl_{2} \end{cases}$$

$$Ti \qquad bot HCl$$

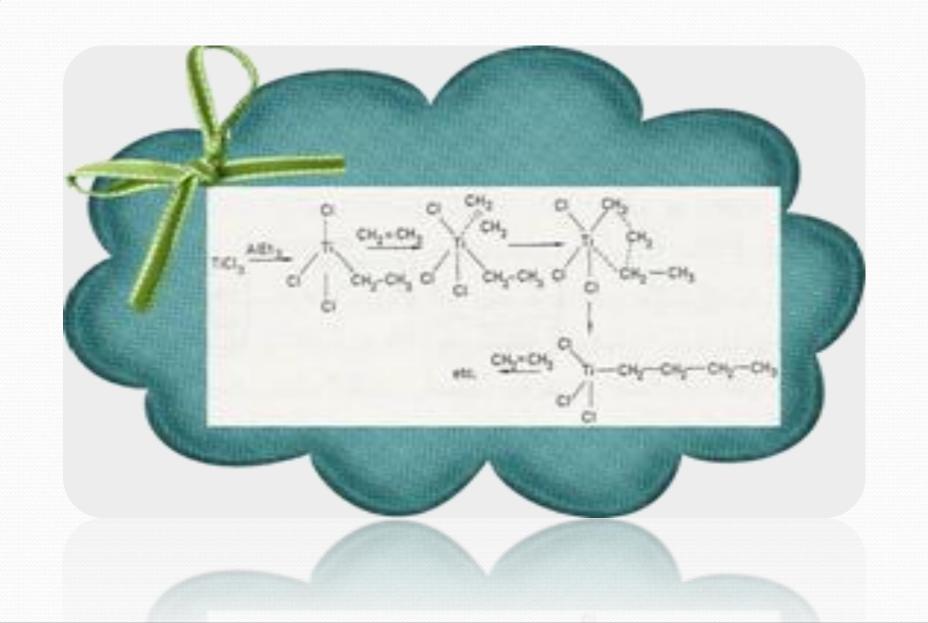
- والمركبات الناتجة للمركب TiCl₃ لها ألوان مختلفة وذلك لأن المرتبطات الستة حول التيتانيوم الثلاثي 3+Ti يمكن أن تكون ستة جزيئات ماء أو خمس جزيئات ماء وأيون كلوريد واحد.
 - هذین البیئتین المختلفتین حول أیون الفلز هي التي تعطي درجات مختلفة من انفصام المجال البللوري للمدار d حیث أن طاقة غلکترون المدار d تختلف في كلتا الحالتین.

ويوجد عدد كبير من المتراكبات المتكونة مثل $[Ti^{III}Cl_6]^3$ ويوجد عدد كبير من المتراكبات المتكونة مثل $[Ti^{III}F_6]^{3-}$, $[Ti^{III}F_6]^{3-}$, $[Ti^{III}Cl_5.H_2O]^{2-}$

- ومتراكبات [TiBr₄(dipyridyl)] ومتراكبات
- Zr^{+3} ايونات الزركونيوم الثلاثي $TiBr_2(dipyridyl)_2$ والهافنيوم الثلاثي Hf^{+3} تكون غير مستقرة في الماء وتوجد فقط على هيئة مركبات صلبة.

المركبات العضو معدنية

• عندما تتفاعل محاليل ثلاثي إيثيل الألومنيوم AlEt مع ثلاثي كلوريد التيتانيوم TiCl₃ فإن هذا التفاعل يكون طارد للحرارة ويعطي راسب بني والذي يسمى عامل الحفز زيجلر وناتا والذي يستخدم في بلمرة الإيثيلين وقد وجد أن الجزء الفعال في هذا التفاعل هو أيونات التيتانيوم الثلاثي Ti⁺³ ويمكن تحضير البولي إيثلين كما يلي:



• ويمكن أن تجري عملية البلمرة تحت درجات حرارة ابتداء من درجة حرارة الغرفة إلى ٥٩٣م وتحت ضغط جوي حتى ١٠٠ جوي وناتج عملية البلمرة تجري له عملية التميؤ باستعمال الماء أو الكحول للتخلص من العامل الحفاز

والبوليمر الناتج يسمى بولي إيثيلين عالي الكثافة وتكون كثافته مي والبوليمر الناتج يسمى بولي إيثيلين عالي الكثافة وتكون كثافته مي 0.97-0.95 جرام لكل سنتمتر مكعب وتكون درجة انصهاره مي ١٣٥م ويكون الوزن الجزيئي له ٢٠،٠٠٠ ويتكون من سلاسل طويلة مع قليل من السلاسل الفرعية الجانبية وهذا النوع من البولي إيثيلين يكون قوي ومرن.

• ويوجد عدد من الأكيلات والأريلات المعروفة مثل

Ti(CH₃)₄ وهي مركبات مستقرة و CH₃TiCl₃·Ti(CH₂.ph)₄ يكون مستقر عند درجة حرارة أقل من - ٢٠٥م ومعظم هذه المركبات مع الألكليلات المتصلة بالتيتانيوم تستخدم أيضا في بلمرة الألكينات ويوجد عدد من مركبات التيتانيوم الثنائي 2+Ti العضوية الفلزية والتي لها القدرة على تثبيت غاز النيتروجين N2 وتنتج الأمونيا (النوشادر) ومن أمثلة هذا النوع المثال التالي:

$$Ti^{IV}(OR)_4 + 2Na \rightarrow Ti^{II}(OR)_2 + 2RONa$$

$$Ti^{IV}(OR)_4 + Na \rightarrow [Ti(OR)_2.Na]_n$$

$$[Ti(OR)_2. Na]_n + 4Na \xrightarrow{(2)ROH} Ti^{IV}(OR)_4 + 4RONa + 2NH_3$$

 $[Ti(OR)_2.Na]_n + 4Na$ — $Ti^{1/}(OR)_4 + 4RONa + 2NH_3$

وتشبه هذه الدورة دورة تثبيت النيتروجين في الطبيعة.

طرق الاستخلاص

• يعتبر التيتانيوم العنصر رقم تسعة الأكثر شيوعا في القشرة الأرضية والخام الأساسي له خام الروتيل وخام الإلمنيت FeTiO. والزركونيوم شائع نسبيا ويوجد على هيئة الرزكون ZrSiO ويماثل الهافنيوم Hf الزركونيوم بسبب انكماش اللانتانيدات ويوجد مع خامات الزركونيوم. وصعوبة فصل هذه العناصر تكون أكبر من فصل اللانثانيدات

• ويسمى التيتانيوم العنصر أو الفلز العجيب وذلك نظرا لخواصه الهامة. إنه صلب جدا له درجة انصهار عالية، موصل جيد للحرارة والكهرباء ومقاوم جيد للتآكل(الصدأ)أكثر من الحديد الصلب (Stainless steel) لكنه أخف من الصلب.

• ويستخدم في موتورات الطائرات والتوربينات وهياكل الطائرات والأجهزة البحرية. وتسبك كميات صغيرة منة مع الصلب لتحسين خواصه وينتج سنويا ٠٠٠،٠١ طن من التيتانيوم ويصعب فصل الفلز بسهولة نظرا لارتفاع نقطة انصهاره ويتفاعل بسرعة مع الهواء، الأكسجين، النيتروجين،الكربون،الهيدروجين عند درجات الحرارة المرتفعة.

• لذلك يكون التيتانيوم غالي الثمن وحيث أن أكسيد التيتانيوم أكثر أستقرارا لذلك فإن أول خطوة لتكوين رباعي كلوريد التيتانيوم هي التسخين مع الكربون والكلور.

 $TIO_2 + C + 2CL_2 \rightarrow TiCl_4 + CO_2$

طرق استخلاص التيتانيوم

- طریقة کرول kroll Process
- في هذه الطريقة يتم اختزال رباعي كلوريد التيتانيوم باستخدام الماغنيسيوم في وجود الأرجون الخامل.

 $Mg + TiCl_4 \xrightarrow{\$00°C} MgCl_2 + Ti$ غير نقي

• كلوريد الماغنسيوم MgCl₂ يزال عن طريق الغسيل باستعمال الماء والتيتانيوم الإسفنجي الناتج بعد الغسيل يتحول إلى مادة صلبة عن طريق انصهاره في فرن كهربائي في وجود جو من الأرجون أو الهليوم.

- طریقة 1.C.1 Process) •
- في هذه الطريقة يتم اختزال رباعي كلوريد التيتانيوم TiCl₄ باستخدام الصوديوم في وجود غاز الأرجون.

$$TiCl_4 + Na \xrightarrow{\$00^{\circ}C} NaCl + Ti$$

غير نقي

• يغسل الناتج بالماء فيذوب كلوريد الصوديوم ونحصل على الطبقة الإسفنجية من التيتانيوم تتحول إلى مادة صلبة بالتسخين في فرن كهربي يحتوي على غاز خامل مثل الأرجون.

- طریقة فان آرکل Van Arkel Process
- التيتانيوم الناتج من الطريقتين السابقتين غير نقي لذلك يسخن التيتانيوم الناتج مع اليود ويتفكك رباعي اليوديد الناتج على فتيل تنجستين كما يلى:

$$Ti+I_2 \stackrel{50-250^{\circ}\mathbb{C}}{\longrightarrow} TiI_4 \stackrel{1400}{\longrightarrow} Ti+I_2$$
نقي فتيل تنجستين غير نقي

التحليل الكهربي في جو خامل

- حيث أن الهاليدات الرباعية مركبات تساهمية لذلك يستخدم حيث أن الهاليدات الرباعية مركبات تساهمية لذلك يستخدم TiCl₃ ، K₂[TiF₆] لنوتاسيوم لخفض نقطة الإنصهار.
 - وتستخدم الطريقة الأولى والثانية في الصناعة والطريقة الثالثة تستخدم لإنتاج مواد نقية على مستوى المعامل.