دراسة نظرية لمركبات نانوية محضرة بواسطة الطريقة الحرارية (Hydrothermal) لمركب اوكسيد السماريوم (Sm_2O_3)

بحث مقدم الى

جامعة ميسان – كلية العوم

وهي جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في العلوم

اعداد الطالبة

زينب كريم راضي

بإشراف

د. جاسم عباس حسين

٢٠٢٤-٢٠٢٥

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ ﴾

هود: ٨٨

الاهداء

لكل حلم تعبنا من أجله، ولكل خطوة أخذتنا نحو هذا الإنجاز، للحظات الصبر والكفاح التي صاغت هذا النجاح، الحمد لله الذي بفضله تتم الصالحات وبه نستعين في كل حين

(وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمي)

ها أنا اليوم أقف على أعتاب حلمي أمسكت به بعد أن كان بعيد المنال، طريق لم يكن سهلاً، لكنه كان ملينا بالدروس والعبر، وأخيراً "وصلت "

الحمد لله شكراً وامتناناً، فهو الذي منحني القوة حين ظننت أنني لن أستطيع، وهو الذي أعانني حين تعثرت خطواتي، فله الحمد حتى يبلغ الحمد منتهاه

إلى من كان دائما سندي وسبب استمراري، إلى من دعمني بلا شروط وأحبني بلا مقابل إلى من كان له الفضل بعد الله في كل خطوة خطوتها ... **أبي الغالي**، كنت القوة التي استندت عليها كلما شعرت بالضعف، فلك مني كل الحب والتقدير

إلى ملاكي الحارس، إلى من كانت لي القلب الدافئ والكتف الحنون، إلى من كانت دعواتها تصل إلى السماء قبل أن أصل إلى أحلامي ... أمي العزيزة، كل نجاح أصل إليه هو هدية لك، وكل فرحة أعيشها هي بفضل دعواتك الصادقة

إلى من شاركني الطريق، إلى كل من وقف بجانبي بكلمة أو دعاء، شكراً من القلب، فلولاكم لما كان لهذا النجاح معنى

وأخيراً، إلى طموحي الذي لم ينته بعد إلى المستقبل الذي ينتظرني، أعدك بأن هذه مجرد بداية الطريق مليء بالإنجازات والتحديات، وبأن القادم أجمل بإذن الله

فهرست العناوين

العنوان	ت
المبحث الاول:المقدمة: تقنية النانو	١
اصول تقنية النانو تكنولوجي	٣
تاريخ تقنية النانو	٦
انتقادات وردود	٧
طرق تحضير المواد النانوية	٨
تطبيقات النانو تكنولوجي	١٠
المبحث الثاني: الطريقة الحرارية المائية	١٧
الاجهزة المستخدمة	١٧
المذيبات المستخدمة	١٧
المزايا	١٨
العيوب	١٩
مقارنة بين الطريقة الحرارية والمائية والطرق الاخرى	١٩
تطبيقات الطريقة الحرارية المائية	٢٠
المبحث الثالث :أكسيد السماريوم(Sm_2O_3)	٢٢
تاريخ أكسيد السماريوم (Sm_2O_3)	٢٢
تحضير أكسيد السماريوم (Sm_2O_3)	٢٣
الخواص الكيميائية لأكسيد السماريوم(Sm_2O_3)	٢٤
الخواص الفيزيائية لأكسيد السماريوم (Sm_2O_3)	٢٤
نظائر أكسيد السماريوم(Sm_2O_3)	٢٥

الدور البيولوجي لأكسيد السماريوم(Sm_2O_3)	٢٥
تطبيقات أكسيد السماريوم(Sm_2O_3)	٢٦
الخاتمة	٢٨
المصادر والمراجع	٢٩

المبحث الاول

المقدمة

١,١ ـ تقنية النانو

تقنية الجزيئات متناهية الصغر أو تقنية الصغائر أو تقنية النانو هي العلم الذي يهتم بدراسة معالجة المادة على المقياس الذري والجزيئي. تهتم تقنية النانو بابتكار تقنيات ووسائل جديدة تقاس أبعادها بالنانومتر وهو جزء من الألف من الميكرومتر أي جزء من المليون من المليمتر. عادة تتعامل تقنية النانو مع قياسات بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر أي تتعامل مع تجمعات ذرية تتراوح بين خمس ذرات إلى ألف ذرة، وهي أبعاد أقل كثيرا من أبعاد البكتيريا والخلية الحية. حتى الآن لا تختص هذه التقنية بعلم الأحياء بل تهتم بخواص المواد، وتتنوع مجالاتها بشكل واسع من أشباه الموصلات إلى طرق حديثة تماما معتمدة على التجميع الذاتي الجزيئي.

هذا التحديد بالقياس يقابله اتساع في طبيعة المواد المستخدمة، فاتقنية النانو تتعامل مع أي ظواهر أو بنايات على مستوى النانو الصغير. مثل هذه الظواهر النانوية يمكن أن تتضمن تقييد كمي التي تؤدي إلى ظواهر كهرومغناطيسية وبصرية جديدة للمادة التي يبلغ حجمها بين حجم الجزيء وحجم المادة الصلبة المرئي. تتضمن الظواهر النانوية أيضا تأثير جيبس- تومسون - وهو انخفاض درجة انصهار مادة ما عندما يصبح قياسها نانويا، اما عن بنايات النانو فأهمها أنابيب النانو الكربونية.

يستخدم بعض الكتاب الصحفيين أحيانا مصطلح (تقنية الصغائر للتعبير عن النانو) رغم عدم دقته، فهو لا يحدد مجاله في تقنية النانو أو الميكرونية إضافة إلى التباس كلمة صغائر التي قد تفهم بمعنى جسيم لأن البعض يسمي الجسيمات بالدقائق.

علوم النانو وتقنية النانو إحدى مجالات علوم المواد واتصالات هذه العلوم مع الفيزياء، الهندسة الميكانيكية والهندسة الحيوية والهندسة الكيميائية تشكل تفرعات واختصاصات فرعية متعددة ضمن هذه العلوم وجميعها يتعلق ببحث خواص المادة على هذا المستوى الصغير، وتكمن صعوبة تقنية النانو في مدى إمكانية السيطرة على الذرات بعد تجزئة المواد المتكونة منها. فهي تحتاج بالتالي إلى أجهزة دقيقة جدا من جهة حجمها ومقاييسها وطرق رؤية الجزيئات تحت الفحص.

كما أن صعوبة التوصل إلى قياس دقيق عند الوصول إلى مستوى الذرة يعد صعوبة أخرى تواجه هذا العلم الجديد الناشئ. بالإضافة ما يزال هناك جدل ومخاوف

من تأثيرات تقانة النانو، ولقد كان التطور التقني الهائل هو السمة الفريدة في القرن العشرين الذي ودعناه قبل بضع سنوات، وقد أجمع الخبراء على أن أهم تطور تقني في النصف الأخير من القرن الحالي هو اختراع إلكترونيات السيليكون أو الترانزيستور والمعامل الإلكتروني، فقد أدى تطويرها إلى ظهور ما يسمى بالشرائح الصغرية والتي أدت إلى ثورة تقنية في جميع المجالات مثل الاتصالات والحاسوب والطب وغيرها.

فحتى عام ١٩٥٠ لم يوجد سوى التلفاز الأبيض والأسود، وكانت هناك فقط عشرة حواسيب في العالم أجمع. ولم تكن هناك هواتف نقالة أو ساعات رقمية أو الإنترنت، كل هذه الاختراعات يعود الفضل فيها إلى الشرائح الصغرية والتي أدى ازدياد الطلب عليها إلى انخفاض أسعارها بشكل سهل دخولها في تصنيع جميع الإلكترونيات الاستهلاكية التي تحيط بنا اليوم. وخلال السنوات القليلة الفائتة، برز إلى الأضواء مصطلح جديد ألقى بثقله على العالم وأصبح محط الاهتمام بشكل كبير، هذا المصطلح هو «تقنية النانو»

هذه التقنية الواعدة تبشر بقفزة هائلة في جميع فروع العلوم والهندسة، ويرى المتفائلون أنها ستلقي بظلالها على كافة مجالات الطب الحديث والاقتصاد العالمي والعلاقات الدولية وحتى الحياة اليومية للفرد العادي فهي وبكل بساطة ستمكننا من صنع أي شيء نتخيله وذلك عن طريق صف جزيئات المادة إلى جانب بعضها البعض بشكل لا نتخيله وبأقل كلفة ممكنة، فلنتخيل حواسيبَ خارقة الأداء يمكن وضعها على رؤوس الأقلام والدبابيس، ولنتخيل أسطولا من روبوتات النانو الطبية والتي يمكن لنا حقنها في الدم أو ابتلاعها لتعالج الجلطات الدموية والأورام والأمراض المستعصية.

والنانو هي مجال العلوم التطبيقية والتقنية تغطي مجموعة واسعة من المواضيع. توحيد الموضوع الرئيسي هو السيطرة على أي أمر من حجم أصغر من الميكروميتر، كذلك تصنيع الأجهزة نفسه على طول هذا الجدول. وهو ميدان متعدد الاختصاصات العالية، مستفيدا من المجالات مثل علم صمغي الجهاز مدد الفيزياء والكيمياء.

هناك الكثير من التكهنات حول ما جديد العلم والتقنية قد تنتج عن هذه الخطوط البحثية. فالبعض يرى النانو تسويق مصطلح يصف موجودة من قبل الخطوط البحوث التطبيقية إلى اللجنة الفرعية حجم ميكرون واسع. رغم بساطة ما لهذا التعريف، النانو عليا تضم مختلف مجالات التحقيق. النانو يتخلل مجالات عديدة، بما فيها صمغي العلوم والكيمياء والبيولوجيا والفيزياء التطبيقية.

فانه يمكن أن يعتبر امتدادا للعلوم في القائمة، تقدر إما إعادة صياغة العلوم القائمة باستخدام أحدث وأكثر الوسائل عصرية. فهناك نهجين رئيسيين تستخدم تقنية النانو: فهو «القاعدة» التي هي مواد وأدوات البناء من الجزيئات التي تجمع بينها عناصر كيميائية تستخدم مبادئ الاعتراف الجزيئي؛ الآخر «من القمة إلى القاعدة» التي تعارض هي نانو مبنى أكبر من الكيانات دون المستوى الذري. زخم النانو نابعة من اهتمام جديد صمغي العلوم إضافة جيل جديد من الأدوات التحليلية مثل مجهر القوة الذرية (ساحة) ومسح حفر نفق المجهر (آلية المتابعة).

العمليات المشتركة والمكررة مثل شعاع الإلكترون والطباعة الحجرية هاتين الأداتين في التلاعب المتعمد، نانوستروستوريس وهذا بدوره أدى إلى رصد ظواهر جديدة. النانو أيضا مظلة وصف التطورات التقنية الناشئة المرتبطة الفرعية المجهري الأبعاد. على الرغم من الوعد العظيم التقنيات المتناهية الدقة عديدة مثل حجم النقاط والنانومترية، حقيقي الطلبات التي خرجت من المختبر إلى السوق والتي تستخدم أساسا مزايا صمغي نانوبارتيكليس في معظم شكل مثل سمرة الشمس المستحضر ومستحضرات التجميل والطلاءات الواقية وصمة المقاومة الملابس.

يعتقد العلماء أن تقنية النانو ستحل مجموعة من التحديات التي تواجه البشرية كالأمراض وتوفير المياه النظيفة للجميع فضلا عن رحلات فضائية رخيصة لا تؤثر فيها الإشعاعات.

١,٢ ـ اصول تقنية النانو تكنولوجي

إن أصل كلمة «النانو» مشتق من الكلمة الاغريقية «نانوس» وهي كلمة إغريقية تعني القزم ويقصد بها، كل شيء صغير وهنا تعني تقنية المواد المتناهية في الصغر أو التكنولوجيا المجهرية الدقيقة أوتكنولوجيا المنمنمات.

وعلم النانو هو دراسة المبادئ الأساسية للجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز قياسه الـ ١٠٠ نانو متر، فالنانو هو أدق وحدة قياس مترية معروفة حتى الآن، ويبلغ طوله واحد من بليون من المتر أي ما يعادل عشرة أضعاف وحدة القياس الذري المعروفة بالأنغستروم، ويعرَّف النانومتر بأنه جزء من البليون من المتر، وجزء من الالف من الميكرومتر.

ولتقريب هذا التعريف إلى الواقع فان قطر شعرة الرأس يساوي تقريبا ٧٥٠٠٠ نانومتر، كما ان حجم خلية الدم الحمراء يصل إلى ٢٠٠٠ نانومتر، ويعتبر عالم النانو الحد الفاصل بين عالم الذرات والجزيئات وبين عالم الماكرو.

نوقشت المفاهيم الأولى لتكنولوجيا النانو في عام ١٩٥٩ من قبل الفيزيائي الشهير ريتشارد فاينمان في محاضرة بعنوان «هناك مساحة كبيرة في القاع»، حين وصف إمكانية صنع مُركبات من خلال التلاعب المباشر بالذرات.

استُخدم مصطلح «تكنولوجيا النانو» لأول مرة من قِبل نوريو تانيجوتشي في عام ١٩٧٤، على الرغم من أن المصطلح لم يكن معروفًا على نطاق واسع. استخدم كاي. إريك دريكسلر مصطلح «تكنولوجيا النانو» في كتابه «محركات التكوين: العصر القادم لتكنولوجيا النانو»، والذي اقترح فيه فكرة «المجمّع» على مقياس النانو والذي سيكون قادرًا على بناء نسخ من نفسه ومن عناصر أخرى معقدة عن طريق التحكم الذري. وفي عام ١٩٨٦، شارك دريكسلر في تأسيس معهد فورسايت (الذي لم يعد تابعًا له) للمساعدة في زيادة الوعي العام وفهم مفاهيم تكنولوجيا النانو وآثارها.

ظهرت تكنولوجيا النانو كمجال بحثي في ثمانينات القرن العشرين من خلال العمل النظري والعام لدريكسلر، الذي طور إطارًا مفاهيميًا لتكنولوجيا النانو، وأدى إلى تقدم تجريبي واضح لفت انتباهًا إضافيًا على نطاق واسع لتكنولوجيا التحكم الذري وإمكانياتها. في ثمانينات القرن العشرين، أدى إنجازان رئيسيان إلى نمو تكنولوجيا النانو في العصر الحديث.

أولاً:

- اختراع مجهر المسح النفقي في عام ١٩٨١ الذي وفّر تصورًا غير مسبوق للذرات الفردية وروابطها، واستُخدم بنجاح في التلاعب في الذرات الفردية في عام ١٩٨٩.
- حصل مطورو المجهر، جيرد بينيج وهاينريش روهرر، من مختبر أبحاث آي بي إم في زيورخ على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٨٦. بالإضافة إلى ذلك، اخترع بينيج وكوايت وجربر مجهر القوة الذرية المماثل في ذلك العام.

ثانياً

- اكتُشف الفوليرين في عام ١٩٨٥ من قبل هاري كروتو وريتشارد سمالي وروبرت كورل، الذين فازوا معًا بجائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩٩٦. لم يُوصف نظير الكربون C60 في البداية على أنه تكنولوجيا نانوية؛ استُخدم المصطلح خلال العمل اللاحق مع الأنابيب النانوية الكربونية ذات الصلة (التي تُسمى أحيانًا أنابيب الجرافين أو أنابيب بوكي) ما أتاح تطبيقات محتملة للإلكترونيات والأجهزة النانوية.

- يُعزى اكتشاف الأنابيب النانوية الكربونية إلى حد كبير إلى سوميو إيجيما من شركة إن إي سي في عام ١٩٩١، والتي فاز بسببها بجائزة كافلي الافتتاحية لعام ٢٠٠٨ في علم النانو.

اقترح إيه. روز في البداية بناء ترانزستور تقاطعي معدني شبه موصل بقاعدة نانوية (تقاطع إم إس) في البداية عام ١٩٦٠، وقد صنعه إل. جيبيرت ومحمد عطا الله وداون كانج في عام ١٩٦٠.

بعد عقود، أتاحت التطورات في تكنولوجيا الأجهزة متعددة البوابات إمكانية تصغير أجهزة ترانزستور الأثر الحقلي للأكاسيد المعدنية لأشباه الموصلات (موسفيت) إلى مستويات النطاق النانوي التي يقل طولها عن ٢٠ نانومتر، بدءًا من ترانزستور فنفيت (ترانزستور تأثير المجال الزعنفي)، الذي هو جهاز موسفيت ثلاثي الأبعاد غير مستوٍ مزدوج البوابة. في جامعة كاليفورنيا في بيركلي، قام فريق من الباحثين يشمل ديغ هيساموتو وتشينمينغ هو وتسو جاي كينغ ليو وجيفري بوكور وآخرون بتصنيع أجهزة فنفيت وصل طولها إلى ١٧ نانومتر في عام ١٩٩٨، ثم إلى ١٥ نانومتر في عام ٢٠٠١، ثم إلى ١٠ نانومتر في عام ٢٠٠٢.

في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، اكتسب هذا المجال اهتمامًا علميًا وسياسيًا وتجاريًا متزايدًا أدى إلى جدل وتقدم في هذا المجال. ظهر جدل بشأن التعاريف والآثار المحتملة لتقنيات النانو، كما يتضح من تقرير الجمعية الملكية حول تكنولوجيا النانو. أثيرت تحديات فيما يتعلق بجدوى التطبيقات التي تصورها دعاة تكنولوجيا النانو الجزيئية، والتي بلغت ذروتها في نقاش عام بين دريكسلر وسمالي في عامي ٢٠٠١ و٢٠٠٣.

في نفس الفترة، بدأ تسويق المنتجات القائمة على التطورات في تقنيات النانو. تقتصر هذه المنتجات على التطبيقات الضخمة للمواد النانوية ولا تتضمن تحكمًا ذريًا بالمادة. تتضمن بعض الأمثلة منصة الفضة النانوية التي تشمل استخدام جسيمات فضة نانوية كعامل مضاد للبكتيريا، وواقيات شمس شفافة قائمة على الجسيمات النانوية، وتقوية ألياف الكربون باستخدام جسيمات السيليكا النانوية، وأنابيب كربونية نانوية لصناعة النسيج المقاومة للبقع.

تحركت الحكومات لتعزيز وتمويل الأبحاث في مجال تكنولوجيا النانو، كما هو الحال في الولايات المتحدة التي أطلقت مبادرة النانو الوطنية، التي صاغت تعريفًا حجميًا لتكنولوجيا النانو ووفرت تمويلًا للبحوث على النطاق النانوي، وفي أوروبا عبر هيئة البرامج للأبحاث والتطور التكنولوجي. بحلول منتصف العقد الأول

من القرن الحادي والعشرين، بدأ الاهتمام العلمي الجديد بالازدهار. ظهرت مشاريع جديدة لإنتاج خطط مستقبلية لتكنولوجيا النانو والتي تركز على تحقيق معالجة ذرية دقيقة للمادة وتناقش القدرات والأهداف والتطبيقات الحالية والمتوقعة.

في عام ٢٠٠٦، طور فريق من الباحثين الكوريين من المعهد الكوري المتقدم للعلوم والتكنولوجيا ومركز نانو فاب الوطني جهاز موسفيت بعرض ٣ نانومتر، وهو أصغر جهاز إلكتروني نانوي في العالم.

أنشأت أكثر من ستين دولة برامج حكومية للبحث والتطوير في مجال تكنولوجيا النانو بين عامي ٢٠٠١ و٢٠٠٤. تم تجاوز التمويل الحكومي من خلال إنفاق الشركات على البحث والتطوير في مجال تكنولوجيا النانو، إذ يأتي معظم التمويل من الشركات الموجودة في الولايات المتحدة واليابان وألمانيا.

كانت المنظمات الخمس الأولى التي قدمت معظم براءات الاختراع الفكرية في مجال تكنولوجيا النانو بين عامي ١٩٧٠ و ٢٠١١ هي سامسونج (٢٥٧٨ براءة اختراع أولى) وشركة نيبون للصلب (١٤٩٠ براءة اختراع أولى) وآي بي إم (١٣٦٠ براءة اختراع) وتوشيبا (١٢٩٨ براءة اختراع أولى) وكانون (١١٦٢ براءة اختراع أولى). كانت المنظمات الخمس الأولى التي نشرت معظم الأوراق العلمية حول أبحاث تكنولوجيا النانو بين عامي ١٩٧٠و٢٠١٢ بين الاكاديمية الصينية للعلوم والاكاديمية الروسية للعلوم والمركز الوطني للبحوث العلمية وجامعة طوكيو وجامعة اوسكا.

١,٣ ـ تاريخ تقنية النانو

المقارنة بين أحجام المواد النانوية

كشفت أبحاث ماريان ريبولد وزملائها في جامعة درسدن الألمانية الغطاء عن سر السيف الدمشقي المشهور بقدرته الكبيرة على القطع ومتانته المذهلة ومرونته الكبيرة، فقد تبين لها أنه مصنوع من مواد مؤلفة بمقياس النانومتر، فأنابيب الكربون النانوية التي تعتبر من أقوى المواد المعروفة وذات المرونة ومقاومة الشد المرتفعة، أحاطت بالأسلاك النانوية من السمنتيت (Fe_3C) وهو مركب قاس وقصف.

منذ آلاف السنين قصد البشر استخدام تقنية النانو. فعلى سبيل المثال أستخدم في صناعة الصلب والمطاط. كلها تمت اعتمادا على خصائص مجموعات ذرية نانوميترية في تشكيلات عشوائية.

وتتميز عن الكيمياء في أنها لا تعتمد على الخواص الفردية للجزيئات.. الأولى إلى بعض المفاهيم المميزة في النانو تقنية (تسبيق لكن استخدام هذا الاسم) في عام ١٨٦٧ كاتب جيمس ماكسويل عندما اقترحت فكرة تجربة صغيرة كيان يعرف ماكسويل للشيطان من معالجة الجزيئات الفردية.

في عام ١٩٢٠ أدخل ارفنغ لانجمير وكاثرين بلودغيت مفهوم نظام monolayer أي طبقة ذرية واحدة أو طبقة مادة يبلغ سمكها مقاييس الذرة. وحصل لانجمير على جائزة نوبل في الكيمياء لعمله.

١,٤ ـ انتقادات وردود

النانو جزيئات صغيرة جداً إلى الحد الذي يمكنها من التسلل وراء جهاز المناعة في الجسم البشري، وبإمكانها أيضًا أن تنسل من خلال غشاء خلايا الجلد والرئة، وما هو أكثر إثارة للقلق أن بإمكانها أن تتخطى حاجز دم الدماغ.

في سنة ١٩٩٧م أظهرت دراسة في جامعة أكسفورد أن نانو جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم الموجودة في المراهم المضادة للشمس أصابت الحمض النووي DNA للجلد بالضرر. كما أظهرت دراسة في شهر مارس الماضي من مركز جونسون للفضاء والتابع لناسا أن نانو أنابيب الكربون هي أكثر ضررًا من غبار الكوارتز الذي يسبب السيليكوسيس وهو مرض مميت يحصل في أماكن العمل.

- مواد نانو: انابيب النانو الكربونية، مواد خفيفة يمكن ان تحدث ثورة في تصميم السيارات بسبب قوتها وقدرتها على توصيل الكهرباء والحرارة.
- نانو روبوت: المرحلة المقبلة في عمليات التصغير يمكن ان تؤدي إلى تصنيع محركات أو روبوتات ميكروسكوبية للمساعدة في دراسة الخلايا والنظم البيولوجية، بالإضافة إلى الألياف.
- عربات ميكرو: عربات متناهية في الصغر يمكن تطويرها لأبحاث الفضاء العميق، والمدارات والمناخ أو استكشاف الأسطح المتحركة.

أوضح سكوت مايز رئيس معهد فورسايت في بالو التو بولاية كاليفورنيا «اعتقد انه على المدى القصير سنشاهد زيادة تدريجية في التقدم». وتجدر الإشارة إلى ان هذا المعهد هيئة لا تسعى للربح هدفه تعليم الرأي العام بخصوص نتائج التقدم في تقنيات النانو.

واضاف مايز لا تتوقعوا قفزات هائلة في تقنية النانو في الوقت الراهن، بل زيادات تدريجية ـ التي بدأت تظهر بالفعل في مجالات المجسات، بل والمنتجات التجارية من مستحضرات التجميل إلى المعدات الرياضية. وذكر ان معهد فورسايت يفحص في الوقت الراهن كيف يمكن لتقنية النانو مواجهة مجموعة من التحديات التي تواجه البشرية اليوم.

ومن بين قائمة أهم ١٠ موضوعات بالإضافة إلى مواجهة الأمراض المعدية وعلاج السرطان، وتوفير المياه النظيفة للجميع ـ هي توفير رحلات فضائية رخيصة للفضاء. وقال انه من الصعب القول ان تطبيقا معينا أكثر أهمية من التطبيقات الأخرى.

١,٥ـ طرق تحضير المواد النانوية

اولاً: الطريقة الفيزيائية

يتم تحضيرها ابتداء من الحالة البخارية للمادة بتسخين المادة او بقذفها بحزمة من الاكترونات او حلها حرارياً باستخدام اشعة الليزر ثمّ يتم تبريد البخار من خلال صدمه بغاز محايد ليصبح أكثر إشباعاً وبعد ذلك يتم وضعه على سطح بارد بسرعة لتجنب حدوث بناء بلوري، ثمّ يتم تحضير مواد النانو باستخدام الموجات أو باستخدام الليزر أو عن طريق PVD أوEpitaxie.

ثانياً: الطرق الكيميائية

أ. **التفاعلات في الحالة البخارية:** يدخل بخار المادة المراد تحضيرها في مفاعل CVD، ثمّ تمتزج جزيئات المادة على سطح أساس بدرجة حرارة معينة وتتفاعل مع غازات أخرى لتكوين شريط صلب على سطح الأساس، وتستخدم هذه الطريقة لتحضير مواد النانو مثل كميمات أشباه النوافل.

ب. **التفاعلات في وسط سائل:** يعتبر الماء أو السوائل العضوية الأكثر استخداماً، ويتم تحضير مواد النانو من خلال تغيير شروط التوازن الكيميائي فيزيائي من خلال تفاعلات الترسيب الكيميائي المزدوج أو التحليل بالماء للحصول على جزيئات كروية يمكن التحكم بأبعادها، أو من خلال استخدام تقنيات sol gel باستخدام محاليل غروية على درجات حرارة منخفضة.

ثالثاً: الطرق الميكانيكية

أ. **التركيب الميكانيكي:** من خلال سحق مادة مكوّنة من جزيئات ميكرومترية من (١ إلى ٣٠) إلى عدة خلائط ومزجها، وتتميز هذه التقنية بأنّها تسمح بتحضير مواد نانو متجانسة، كما تسمح بإنتاج مواد ضخمة من عدة أطنان.

ب. **عملية الرصد والتزجيج الأولى:** من خلال تحويل المادة الذرية إلى قطعة ضخمة خلال مرحلتين، مرحلة الرص الميكانيكي، ومرحلة إذابة مسحوق المعادن لتشكيله بعد التبريد.

ج. **تقنيات التشوهات القوية:** من خلال تشويه مادة بلورية بقوة كالمعدن أو الخزف بهدف تحسين خصائص التصلب واللدانة للمواد.

د. **طريقة الطحن:** تستخدم لإنتاج مواد نانو على شكل مسحوق حيث يتم تعريض المادة الأساسية لطاقة عالية جداً، ثمّ طحنها باستخدام كرات مصنوعة من الفولاذ تتحرك بشكل اهتزازي أو كوكبي أو رأسي، ويتراوح حجم مواد نانو التي يتم تصنيعها ما بين ٣ إلى ٢٥ نانومتراً.

هـ. **طريقة الحك:** من خلال وضع شرائح السيلكون النحيفة جداً في مواد كيميائية مثل HF، وحك شرائح السيلكون للحصول على جزيئات السيلكون على سطح الشرائح، ووضع هذه الشرائح في محلول مثل الأيزوبروبانول وبعد ذلك في جهاز الموجات فوق الصوتية لإسقاط الجزيئات داخل المحلول.

و. **الطريقة الإلكتروكيميائية:** من خلال وضع شريحة السيلكون في القطب الموجب وشريحة البوليكاربونات في القطب السالب في محلول كيميائي، وتعريض الشرائح إلى تيار كهربائي.

ز. **طريقة الاستئصال الليزري:** من خلال تعريض المادة إلى ليزر نبضي ذي طاقة عالية جداً، بحيث يتفاعل شعاع الليزر مع الهدف مما يؤدي إلى تطاير جزيئات المادة وتكوين البلازما التي تترسب على القاعدة وتكون أفلام رقيقة.

ح. **طريقة التنفيل:** من خلال تعريض المادة إلى ضغط منخفض جداً مفرغ من الهواء وبقاعدة باردة يتم تعريضها إلى مجال مغناطيسي، مما يؤدي إلى انتزاع جزيئات المادة وترسبها في القاعدة مكوّنة فلماً رقيقاً.

١,٦ ـ تطبيقات النانو تكنولوجي

عندما يتم معالجة بعض المواد على المستوى الذرى فإنها تكتسب خصائص فريدة ومهمة، وقد تكون خصائص مرئية، أو خصائص كهربائية، أو مغناطيسية، وغيرها من الخصائص المتنوعة(هُنا تكمن أهمية النانوتكنولوجي).

ولذلك تتنوع تطبيقات النانو تكنولوجي في مجالات الحياة المختلفة كالطاقة والطب والزراعة والإلكترونيات وغيرها، وسوف نستعرض الآن بعض استخدامات النانو تكنولوجي :

١) تطبيقات النانو تكنولوجي في الكيمياء

- تركز تقنية النانو في الكيمياء على عملية تجميع الذرات المنفردة في جزيئات أكبر والسلوك الناتج عن القيام بذلك؛ فهذه العملية تعتبر من أكبر فوائد كيمياء النانو لابتكار مواد ومنتجات جديدة.
- فالجسيمات النانوية تساعد على هضم الأدوية في جسم الإنسان بشكلٍ أفضل، و لها دور في تسهيل إنتاج هذه الأدوية، كما يُعتمد عليها أيضًا في إنتاج أدوية العلاج الكيميائي لخلايا السرطان.
- معظم واقيات الشمس تُصنع اليوم من جسيمات النانو، فهي فعالة للغاية في امتصاص الضوء حتى في مستويات الأشعة فوق البنفسجية الخطيرة، كما أنها تنتشر بسرعة أكبر في الجلد، وتستفيد المصانع من ميزتها في امتصاص الأشعة فوق البنفسجية من خلال إدخالها في تركيبة مواد التغليف الخاصة بالأغذية.

٢) تطبيقات النانو تكنولوجي في الصناعة

- عن طريق استخدام النانو تكنولوجي في صناعة البطاريات استطاعت بعض الشركات تطوير بطاريات لا تفسد إذا لم يتم استخدامها لفترة طويلة.
- يمكن أيضًا تحسين كفاءة استهلاك الوقود في السيارات إلى جانب المساعدة في مقاومة التآكل، وذلك من خلال بناء أجزاء السيارة من مواد متناهية في الصغر والتي تتميز بأنها أخف وزنًا وأشد قوةً وأكثر مقاومةً للتفاعلات الكيميائية من المعدن.

٣) تطبيقات النانو تكنولوجي في الفضاء

- سوف يؤدى استخدام تقنية النانو تكنولوجي إلى جعل السفر عبر الفضاء أكثر عملية. فعن طريق استخدام المواد النانوية في تصنيع المركبات الفضائية سوف نتمكن من تخفيف وزنها وبالتالي يمكن الحد بشكل كبير من كمية

الوقود الضروري لدفعها، وسوف تؤدي هذه التطبيقات إلى تخفيض تكلفة السفر إلى الفضاء.

٤) تطبيقات النانو تكنولوجي في تنقية الهواء

- يمكن استخدام تقنية النانو تكنولوجي في تحويل العوادم التي تخرج من السيارات والمصانع إلى غازات غير ضارة.

٥) تطبيقات النانو تكنولوجي في مجال الطاقة

- توفر تقنيات النانو إمكانات تحسين أساسية لتطوير مصادر الطاقة التقليدية (الوقود الأحفوري والنووي) ومصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الحرارية الأرضية أو الشمس أو الرياح أو المياه أو المد والجزر أو الكتلة الحيوية.
- فمثًلا تسمح مجسات الحفر المطلية بالنانو المقاومة للتآكل بتحسين عمر وكفاءة الأنظمة لتطوير رواسب النفط والغاز الطبيعي أو الطاقة الحرارية الجوفية وبالتالي توفير التكاليف.
- ومن الأمثلة الأخرى مواد متناهية الصغر عالية التحمل للشفرات الدوارة الأخف وزناً والأكثر صلابة لمحطات طاقة الرياح والمد والجزر بالإضافة إلى طبقات الحماية من التآكل و كذلك تآكل المكونات المجهدة ميكانيكيًا (المحامل ، علب التروس ، إلخ).
- وكما وضحنا سابقا، سوف تلعب تقنيات النانو دورًا حاسمًا على وجه الخصوص في الاستخدام المكثف للطاقة الشمسية من خلال الأنظمة الكهروضوئية. في حالة الخلايا الشمسية السليكونية البلورية التقليدية، على سبيل المثال: يمكن تحقيق زيادات في الكفاءة من خلال طبقات مضادة للانعكاس لزيادة إنتاجية الضوء.

٦) تطبيقات النانو تكنولوجي فى معالجة الماء

- تستخدم النانو تكنولوجي في إزالة النفايات الصناعية من المياه الجوفية، حيث يمكن استخدام الجسيمات النانوية لتحويل المادة الكيميائية الملوثة إلى مواد غير ضارة، وقد أظهرت الدراسات أن هذه الطريقة يمكن استخدامها بنجاح للوصول إلى الملوثات المنتشرة في الأحواض الأرضية وبتكلفة أقل بكثير من الطرق التي تتطلب ضخ المياه من الأرض للمعالجة.

٧) تطبيقات تقنية النانو في الفيزياء

- تقنية النانو تتعامل مع أي ظواهر أو بنايات على مستوى النانو الصغير. مثل هذه الظواهر النانوية يمكن أن تتضمن هذه الظواهر النانوية تقييد كمي التي تؤدي إلى ظواهر كهرومغناطيسية وبصرية جديدة للمادة التي يبلغ حجمها بين حجم الجزيء وحجم المادة الصلبة المرئي.

- تتضمن الظواهر النانوية أيضا تأثير جيبس-تومسون – وهو انخفاض درجة انصهار مادة ما عندما يصبح قياسها نانويا.

٨) تطبيقات النانو تكنولوجي فى المجال الرياضي

- تستخدم تطبيقات تكنولوجيا النانو في الساحة الرياضية بشكل أساسى، فمثلا الأنابيب النانوية الكربونية مفيدة في جوانب عديدة، مثل إنتاج معدات أكثر متانة وأخف وزنًا متعلقة بالنشاطات الرياضية كمضارب التنس فهي تعمل على زيادة قوة مضارب التنس، وتحسين جودة كرات التنس حيث تقلل معدل فقدها للهواء.

٩) استخدامات النانو تكنولوجي في مجال الزراعة

- يتمثل الهدف من استخدام تقنية النانو في الزراعة في تقليل رش منتجات وقاية النباتات (المبيدات الحشرية)، وزيادة غلة النباتات، كما أن لها دوراً كبيراً في كافة مراحل إنتاج ومعالجة، وتخزين وتعبئة ونقل المنتجات الزراعية، وفيما يلي ذكر لبعض هذه الاستخدامات:
  - المبيدات والأسمدة هناك حاجة دائمة إلى الزراعة المستدامة حول العالم؛ لتلبية احتياجات الإنسان من الغذاء، وعلف الحيوانات والألياف، الأمر الذي ينتج مشكلات في التربة؛ فإحدى الممارسات التي يمكن أن تسبب ضرراً طويل الأمد هي الحرث المفرط للتربة، والذي يؤدي إلى التعرية، كما يعمل الري دون الحاجة إلى الصرف الصحي إلى تملح التربة؛ وبالتالي تفقد التربة قدرتها على تنمية النباتات. كما يلزم إجراء تجارب طويلة الأجل بهدف إظهار أثر الممارسات المختلفة على خصائص التربة؛ والتي تعد ضرورية لتوفير البيانات الهامة التي تخدم الزراعة المستدامة، وهنا تظهر المواد الكيميائية النانوية كعوامل واعدة لنمو النباتات، ومكافحة الآفات في ذات الوقت.
  - وهذه المواد النانوية تقوم بدور الأسمدة المطلوبة للنبات بحيث تمتلك خواص لتحسين المحاصيل الزراعية، مع تأثير سمية أقل على البيئة؛ بحيث تقوم بعض المواد النانوية على إنبات البذور، وتحسين نمو الجذور؛ كما في محاصيل الفجل واللفت، والخس والذرة والخيار، والبعض الآخر يقوم على تحسين نمو شتلات القمح والطماطم، ونبات الفول وغيرها الكثير، من التأثيرات الضرورية على المحاصيل الزراعية المختلفة.
  - مكافحة آفات النبات يعتبر مرض ذبول الفيوزاريوم من الأمراض المدمرة التي تصيب المحاصيل الزراعية؛ كالطماطم والخس في العديد

من البلدان، وهو ينتج بسبب بقاء الفطريات لفترات طويلة في التربة، وتوليد سلالات متطورة مقاومة للمبيدات التي تم استخدامها. ويمكن الحد من هذا المرض إلى حد ما باستعمال أصناف ومواد كيميائية مقاومة، ولكن ظهور سلالات جديدة وتطورها يعد مشكلة مستمرة؛ كما أن استخدام المواد الكيميائية مكلف وغير فعال، ومن هنا تم اللجوء للمواد النانوية كحل بديل للسيطرة على مسببات الأمراض النباتية.

- وبعد عدة تجارب تم إجراؤها في البيوت الزجاجية، تم التوصل عبر تحليل تراكمات الجسيمات النانوية لأكاسيد المعادن، المستخدمة في ثمار النباتات المعالجة إلى نتائج مفادها؛ أن جميع الثمار خالية من أي تراكم للمعادن. وقد بُذلت جهوداً كبيرةً في تخليق الجسيمات النانوية؛ بوسائل فيزيائية وكيميائية وبيولوجية، كما تعتبر الطرق الخضراء لتجميع هذه الجسيمات مع المستخلصات النباتية مفيدة جدًا؛ لكونها بسيطة ومريحة وصديقة للبيئة، والتي تزيد من الإمكانات الزراعية لتحسين عملية التسميد ونمو النبات.
- نشاط مضادات الميكروبات يتم استخدام مجموعة كبيرة من الجزيئات النانوية كعوامل مضادة للميكروبات، والتي تغلف المواد الغذائية المحتوية على جزيئات الفضة ذات الأهمية الكبيرة، كما تستخدم أكاسيد كل من الزنك والسيليكون، والمغنيسيوم والذهب والفضة، بالإضافة إلى ثاني أكسيد التيتانيوم. ولكل منهم خصائص مختلفة، ووظائف محددة بحيث تظهر بلورات الزنك النانوية نشاطاً مضادًا للفطريات والميكروبات؛ في حين تعمل الفضة كعامل مطهر ومعقم للمياه، والزيوليت الفضي والفضة، وبامتلاك الذهب خاصية استقرار ضمن درجات الحرارة العالية، وتقلب الجو يعمل كمضاد فعال ضد (١٥٠) نوعاً من البكتيريا.
- كما تم استخدام الفضة كمطهر للمياه التجارية؛ بسبب نتائجها الفعالة في مقاومة الكائنات الحية الدقيقة، وأظهرت مواد نانوية أخرى نشاطًا مضاد للفطريات كالمبيضات البيضاء والرشاشيات النيجر والخميرة. كما أظهرت الجسيمات النانوية لأكسيد الزنك، والتي تم تصنيعها بواسطة مستخلص مائي لقشور "بونيكا جراناتوم" فعالية كبيرة؛ كمواد مضادة للجراثيم ضد السلالات القياسية من المكورات العنقودية ذات اللون الذهبي وغيرها.

١٠) تطبيقات تقنية النانو الطبية

- لقد ساعد التطور الحديث في تقنيات النانو على تغيير القواعد الطبية المتبعة في منع الأمراض وتشخيصها وعلاجها وأصبحنا نعيش عصر التقنية الطبية النانوية، حيث تقدم تقنية النانو، على سبيل المثال، طرقاً جديدة لحاملات الدواء داخل جسم الإنسان (تسمى حاملات نانوية ذات أحجام تصل إلى مقياس النانو) تكون قادرة على استهداف خلايا مختلفة في الجسم .ويمكن بواسطة هذه التقنية تصوير خلايا الجسم بسهولة كما لو أننا نأخذ لها صورة عادية، كذلك يمكن التحكم بتلك الخلايا وتشكيلها بأشكال مختلفة .
- تستخدم أنواع كثيرة من الجسيمات النانوية في التطبيقات الطبية بحيث تعمل كحاملات للدواء أو أدوات للتصوير داخل الجسم، وحاليا تستخدم أنواع مختلفة من جسيمات الليبوزوم النانوية المصنعة كأنظمة توصيل للعقارات المضادة للسرطان واللقاحات، كما تستخدم جسيمات الذهب النانوية في أجهزة الاختبار المنزلي للكشف عن الحمل .
- تستخدم الأسلاك النانوية كمجسَّات حيوية نانوية وذلك لحساسيتها العالية وحجمها النانوي، حيث يتم طلاء هذه الأسلاك النانوية بأجسام مضادة مصنَعة بحيث أنها تلتصق فقط بالجزيئات الحيوية(DNA) ، أو البروتينات، أو الجسيمات البيولوجية الأخرى الموجودة داخل الجسم، وليس غيرها من الجزيئات الأخرى، وعندما ترتبط هذه البروتينات أو غيرها بالأسلاك النانوية المطلية فسوف تتغير توصيليتها، وبذلك يمكن استخدام هذا المجس الحيوي النانوي في اكتشاف عدد كبير من الأمراض في مراحلها الأولية، وذلك بإدخال أعداد كبيرة من الأسلاك النانوية داخل الجسم يتم طلائها بأجسام مضادة مختلفة، تمثل مجسَّات مختلفة .
- كذلك تستخدم الأغلفة النانوية المطلية بالذهب لتدمير الخلايا السرطانية، ويبلغ طول هذه الأغلفة النانوية حوالي ١٢٠ نانومتر وهذا أصغر من حجم خلية السرطان بمقدار ١٧٠ مرة، وعند حقن هذه الأغلفة النانوية داخل الجسم فإنها تلتصق تلقائياً بالخلايا السرطانية، ومن ثم يتم تعريض تلك الخلايا لأشعة ليزر تحت الأحمر والتي تعمل على تسخين الذهب ورفع درجة حرارته مما يؤدي إلى احتراق تلك الخلايا وموتها، وتمتاز هذه الطريقة بالدقة والموضعية نظراً لصغر الأغلفة النانوية بالنسبة للخلايا وتركُزها بالخلايا المريضة فقط مما يجعل الخلايا السليمة بعيدة عن مخاطر الآثار الجانبية .

- مولدات النانو الحيوية، عبارة عن أجهزة كهروكيميائية نانوية تقوم بتوليد قدرة كهربية من جلوكوز الدم في الجسم ومن ثم تستخدم هذه القدرة في تشغيل أجهزة نانوية أخرى مزروعة داخل جسم الإنسان مثل أجهزة ضبط النبض أو روبوتات حقن السكر النانوية .
- ومن التطبيقات الطبية الواعدة لتقنية النانو هي استخدام ألياف البوليمر النانوية لإجراء الجراحات الترقيعية للأوعية الدموية وقد تم حديثاً زراعة أجهزة ترقيعية مصنوعة من ألياف البروتين النانوية في الجهاز العصبي المركزي للإنسان، كذلك تستخدم ألياف البوليمر النانوية في علاج الحروق والجروح وتدخل في صناعة المستحضرات التجميلية .
- عند حقن جسيمات سلينيد الكادميوم النانوية (النقاط الكمية) داخل الجسم فإنها تتجمَع داخل الخلايا السرطانية بشكل انتقائي وفي حالة تعريض المنطقة المستهدفة لضوء فوق بنفسجي فإن الجسيمات تُضيء مما يساعد في تحديد موقع الخلايا الخبيثة وإزالتها بدقة .
- يتم التفكير الآن بتصنيع أجهزة نانوية ذات خصائص ميكانيكية وكهربية تحل بديلاً عن خلايا الدم الحمراء وتقوم بجميع وظائفها، كما أن تقنية النانو تقدم الآن بديلاً لقطع الغيار البشرية بكفاءة تكون قريبة من الأصلية، حيث تُجرى البحوث الآن باستبدال بعض الأعضاء التي تؤدي وظائف حركية، كاعظام والعضلات والمفاصل بأعضاء نانوية تقوم بنفس المهمة.
- تستخدم الجسيمات النانوية المصنَعة من العناصر الأرضية النادرة لإزالة الفوسفات في الدم عند المرضى المصابين بفرط الفوسفاتية في الدم .تلعب تقنية النانو دوراً كبيراً في تحسين هندسة الأنسجة الحية وعلاج الخلايا وذلك يشمل استخدام خلايا حية أو مركبات طبيعية أو مصنَعة يتم زراعتها داخل الجسم الحي .
- ويقوم بعض الباحثين الآن بمحاولات تجريبية يتم فيها استخدام كبسولات سيلكون نانوية تعمل على وقف نظام الجسم المناعي من التعرف على الخلايا الغريبة حيث تقوم هذه الكبسولات بحجب الأجسام المضادة الناتجة من نظام الجسم المناعي بينما يتم إطلاق كمية كافية من الأنسولين المحمول بواسطة الكبسولات النانوية في الدم .
- كما أن الأدوات الجراحية أصبحت الآن هدفاً للتطوير والتحسين باستخدام تقنية النانو، حيث أمكن تصميم مبضع جراحي يعتمد على مادة الألماس النانوية والذي يقطع بدقة متناهية خلال كرة العين.

- ومن المتوقع في المستقبل القريب أن تُقدم تقنية النانو حلولاً ناجحة لتصحيح التلف الناتج في الأجهزة السمعية والبصرية والحسية في الإنسان وذلك بزراعة أجهزة نانوية دقيقة داخل الجسم، فعلى سبيل المثال، يعمل الباحثون الآن على زراعة غشاء نانوي في شبكية الأعمى لتحسين النظر لديه.

المبحث الثاني

الطريقة الحرارية المائية (Hydrothermal Method)

هي إحدى الطرق الكيميائية المهمة المستخدمة في تحضير المواد الصلبة، وخاصة المواد النانوية والأكاسيد المعدنية. تعتمد هذه الطريقة على استخدام الماء كمذيب في ظروف خاصة من الضغط والحرارة المرتفعة داخل أوعية محكمة تُعرف بالأوتوكلاف.

عند هذه الظروف، تتغير خصائص الماء الفيزيائية والكيميائية، مما يسمح بإذابة وإعادة ترسيب المواد بطريقة منظمة. تُستخدم هذه الطريقة بشكل واسع لتحضير بلورات ذات نقاء عالٍ وشكل متحكم فيه، مثل أكاسيد المعادن والسيراميك والمركبات النانوية.

كما تُعتبر فعّالة في تحضير مواد يصعب إنتاجها بالطرق التقليدية. تتيح هذه الطريقة التحكم في حجم الجسيمات وشكلها وخصائصها البلورية، مما يجعلها مثالية في التطبيقات الصناعية والإلكترونية والطبية.

٢,١ـ الاجهزة المستخدمة

١. الأوتوكلاف (Autoclave Reactor): وعاء ضغط مغلق يتحمل درجات حرارة وضغط مرتفع، مصنوع غالبًا من الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) ومبطن بالتفلون(Teflon liner) .
٢. فرن حراري • :(Oven or Furnace) يستخدم لتسخين الأوتوكلاف عند درجات حرارة تتراوح بين ١٠٠–٣٠٠ °C .
٣. ميزان إلكتروني (Analytical Balance) : لقياس الكواشف بدقة.
٤. أجهزة تقليب وتحريك (Magnetic Stirrer):لضمان تجانس المحلول قبل وضعه في الأوتوكلاف.
٥. جهاز قياس الأس الهيدروجيني (pH Meter): لضبط الحموضة أو القلوية اللازمة للترسيب.

٢,٢ـ المذيبات المستخدمة

١. الماء – (H_2O) المذيب الأساسي

- هو المذيب الأكثر شيوعًا في هذه الطريقة .

- تحت الضغط والحرارة المرتفعة، يتحول إلى وسط تفاعل فريد بخصائص تشبه المذيبات العضوية (مثل تقليل قطبيته وزيادة قابليته لإذابة المواد غير القطبي).
- يمكن أن يعمل كمذيب، ووسيط تفاعل، وأحيانًا كعامل مختزل .

٢. مذيبات مشتركة – (Co-solvents) تستخدم أحيانًا حسب الحاجة

أ. الإيثانول (Ethanol) :

- يُستخدم لتحسين ذوبان بعض المواد العضوية أو تقليل التكتل في الجسيمات النانوية .
- يُعد آمنًا ومتوفرًا بسهولة.

ب. الإيثيلين غلايكول (Ethylene glycol) :

- مذيب عضوي قطبي، يُستخدم في الظروف الحرارية المائية المعدلة يسمى(Solvothermal method).
- يساعد في التحكم بشكل وحجم الجسيمات .

ج. الميثانول(Methanol) :

- يُستخدم لتحسين التجانس عند تحضير أكاسيد أو معادن معينة.

د. ثنائي ميثيل فورماميد (DMF) :

- يُستخدم في بعض التفاعلات المعقدة لتحسين التبلور.

٢,٣ـ المزايا

١. تحكم دقيق في شكل وحجم الجسيمات : تسمح بتكوين بلورات منتظمة ونانوية بسهولة .
٢. إنتاج مواد عالية النقاء : البيئة المغلقة تقلل من التلوث أو فقدان المواد الطيارة .
٣. إمكانية تحضير مركبات غير مستقرة حرارياً : يمكن تحضير مواد لا تتحمل درجات الحرارة العالية في الهواء .
٤. توفر ظروف تفاعل فريدة : بسبب الضغط ودرجة الحرارة العالية، يمكن إذابة مركبات لا تذوب في الماء العادي.

٥. فعالة من حيث الطاقة : بالمقارنة مع الطرق الحرارية التقليدية، تكون درجة الحرارة المطلوبة أقل أحيانًا.
٦. صديقة للبيئة : تعتمد غالبًا على الماء كمذيب، وهو غير سام وقابل لإعادة التدوير.

٢,٤ـ العيوب

١. تحتاج إلى معدات خاصة: مثل الأوتوكلاف المقاوم للضغط والحرارة، وهي مكلفة نسبيًا .
٢. خطر الانفجار أو التسرب: بسبب الضغط العالي داخل الأوتوكلاف، يجب اتخاذ احتياطات سلامة صارمة.
٣. زمن التفاعل طويل: بعض التفاعلات تحتاج إلى ساعات أو حتى أيام لتحقيق النتائج المطلوبة.
٤. صعوبة في المراقبة أثناء التفاعل: لا يمكن متابعة التفاعل بصريًا أو أخذ عينات أثناء التشغيل.
٥. محدودية التفاعلات : ليست مناسبة لكل المواد، خاصة التي تتحلل في الماء أو لا تتحمل الضغط.

٢,٥ـ مقارنة بين الطريقة الحرارية والمائية والطرق الاخرى

الطريقة الحرارية المائية من الطرق المتقدمة والفعالة في تحضير المواد النانوية والبلورات، وتمتاز عن الطرق التقليدية الأخرى بعدة جوانب، فهي تعتمد على استخدام الماء كمذيب في ظروف من الضغط والحرارة العالية داخل أوتوكلاف مغلق، مما يسمح بتكوين مواد ذات بلورية عالية ونقاوة ممتازة.

بالمقارنة مع الطريقة الصلبة التي تعتمد على التفاعلات بين المواد الجافة في درجات حرارة عالية (تتجاوز ١٠٠٠ درجة مئوية)، فإن الطريقة الحرارية المائية تعمل في درجات حرارة أقل، وتوفر تحكمًا أفضل في شكل وحجم الجزيئات، كما أنها أكثر كفاءة من حيث استهلاك الطاقة. أما طريقة الترسيب، فهي أبسط وأقل تكلفة، وتُستخدم بشكل واسع في تحضير أكاسيد المعادن، لكنها غالبًا ما تنتج جسيمات غير منتظمة أو أقل تجانسًا في البنية البلورية.

وفي المقابل، تعتبر طريقة السول-جيل مناسبة لإنتاج مواد ذات خصائص بصرية أو أغشية رقيقة، وتتميز بمرونة كبيرة في التركيب الكيميائي، لكنها تتطلب خطوات معقدة نسبيًا وتحكمًا دقيقًا في ظروف التفاعل.

٢,٦ـ تطبيقات الطريقة الحرارية المائية

الطريقة الحرارية المائية تُستخدم على نطاق واسع في العديد من المجالات العلمية والتقنية، بسبب قدرتها على تحضير مواد ذات خصائص بلورية نانوية دقيقة ونقاء عالٍ .

وفيما يلي أهم تطبيقات هذه الطريقة :

١. .تحضير المواد النانوية (Nanomaterials): تُستخدم الطريقة الحرارية المائية لإنتاج جسيمات نانوية دقيقة الحجم مثل أكسيد الزنك(ZnO) ، وأكسيد التيتانيوم(TiO_2) ، وأكاسيد الحديد، وغيرها. وتتميز هذه المواد بخواص كهربائية وبصرية فريدة تُستخدم في الإلكترونيات والضوئيات.
٢. تصنيع المحفزات (Catalysts): يُنتج بهذه الطريقة محفزات نانوية فعالة تُستخدم في تفاعلات كيميائية مهمة مثل تكسير البترول، أو في خلايا الوقود، أو في معالجة المياه.
٣. تحضير المواد السيراميكية والبلورية :تُستخدم هذه الطريقة لإنتاج مواد خزفية ذات بنية بلورية نقية، مثل الزيوليتات (Zeolites) ، والفريتات المغناطيسية، والسيراميك الإلكتروني .
٤. إنتاج أشباه الموصلات (Semiconductors): يتم استخدام الطريقة لتحضير مواد مثل كبريتيد الكادميوم (CdS) أو أكسيد القصدير (SnO_2) التي تُستخدم في الخلايا الشمسية وأجهزة الاستشعار .
٥. التطبيقات البيئية :تُستخدم المواد المحضرة بالطريقة الحرارية المائية في إزالة الملوثات من المياه، مثل المعادن الثقيلة أو الأصباغ العضوية، وذلك بفضل مساحة سطحها العالية ونشاطها الكيميائي .
٦. التطبيقات الطبية والبيولوجية :يتم تحضير جسيمات نانوية تستخدم في توصيل الدواء (Drug delivery) أو التصوير الحيوي (Bioimaging) أو حتى في علاج السرطان (مثل الجسيمات المغناطيسية).
٧. .صناعة البطاريات والمواد ذات السعة التخزينية العالية للطاقة :تُستخدم في تحضير مكونات البطاريات مثل الليثيوم فوسفات الحديد ($LiFePO_4$) أو مواد الأقطاب الأخرى، والتي تتطلب تحكمًا دقيقًا في الحجم والشكل .
٨. تطوير الأغشية الرقيقة :(Thin Films) تُستخدم هذه الطريقة لتحضير أغشية نانوية تستخدم في المستشعرات أو الإلكترونيات الدقيقة.

وباختصار، تتفوق الطريقة الحرارية المائية في إنتاج المواد عالية البلورية والنانوية بدقة، لكنها تحتاج إلى معدات خاصة وبيئة تفاعل مضبوطة، في حين تُفضل الطرق الأخرى في بعض التطبيقات الصناعية أو عند الحاجة إلى إنتاج سريع وغير مكلف. لذلك، تُختار الطريقة الأنسب حسب نوع المادة المراد تحضيرها، والدقة المطلوبة، والموارد المتاحة

المبحث الثالث

أكسيد السماريوم(Sm_2O_3)

يُعد أكسيد السماريوم (Sm_2O_3) أحد أكاسيد العناصر الأرضية النادرة، وينتمي إلى مجموعة اللانثانيدات في الجدول الدوري. يتميز هذا الأكسيد بلونه الأبيض المصفر وبنيته البلورية المستقرة، ويُعتبر الشكل الأكثر استقرارًا لأيون السماريوم الثلاثي Sm^{3+}. يُستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية والتقنية بسبب خواصه البصرية والمغناطيسية والكهربائية الفريدة.

يمتلك Sm_2O_3 قدرة كبيرة على امتصاص النيوترونات، مما يجعله عنصرًا مهمًا في الصناعات النووية كمادة امتصاص في المفاعلات. كما يدخل في تصنيع المواد المغناطيسية فائقة الأداء مثل مغناطيسات السماريوم- كوبالت($SmCo_5$) ، وهي من أقوى المغناطيسات الدائمة.

علاوة على ذلك، يُستخدم Sm_2O_3 في تحفيز التفاعلات الكيميائية، وصناعة الزجاج والسيراميك، ويدرس العلماء خصائصه في الأنظمة النانوية والتطبيقات البصرية مثل الليزرات والمواد الفوسفورية.

تُحضّر هذه المادة غالبًا من خلال معالجة أملاح السماريوم أو أكاسيده الأخرى بطرق حرارية أو رطبة، ويُعد التحكم في حجم الجسيمات والبلورة أمرًا حيويًا لتحسين كفاءتها في التطبيقات المختلفة.

٣,١- تاريخ أكسيد السماريوم (Sm_2O_3)

تم اكتشاف عنصر السماريوم عام 1879على يد الكيميائي الفرنسي بول إميل لوكوك دو بوابودران (Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran) أثناء دراسته لمعدن الساماركيت، وهو أحد معادن الأرض النادرة. عُزل السماريوم لأول مرة من مزيج من العناصر النادرة باستخدام تقنية الطيف الذري، ثم تم تحضيره لاحقًا على هيئة أكسيد السماريوم(Sm_2O_3) ، والذي كان أول مركب معروف للعنصر الجديد.

في البداية، لم يكن من السهل فصل السماريوم النقي أو أكسيده بسبب التشابه الكيميائي الشديد بين عناصر اللانثانيدات، إلا أن تطور تقنيات الفصل، مثل التبادل الأيوني واستخدام المذيبات العضوية، خلال القرن العشرين مكّن العلماء من عزل أكسيد السماريوم بدرجات نقاء عالية .

خلال خمسينيات القرن الماضي، برزت أهمية Sm_2O_3 في التطبيقات الصناعية، خاصة في تصنيع المغناطيسات القوية من نوع سماريوم-كوبالت ($SmCo_5$)، والتي ظهرت لأول مرة في ستينيات القرن العشرين كمغناطيسات عالية الأداء.

كذلك، دخل أكسيد السماريوم في المجال النووي، حيث استُخدم كمادة قادرة على امتصاص النيوترونات في المفاعلات النووية. ومع تطور علوم المواد، وظهور تقنية النانو، أصبحت للأشكال النانوية من Sm_2O_3 أهمية إضافية في الإلكترونيات، والخلايا الشمسية، والتطبيقات التحفيزية .

اليوم، يُنتج أكسيد السماريوم على نطاق صناعي من معادن مثل المونازيت والباستناسيت، بعد فصل العناصر الأرضية النادرة منها، ويُعد من المواد الأساسية في الكيمياء الصناعية والمغناطيسية المتقدمة .

٣,٢- تحضير أكسيد السماريوم (Sm_2O_3) :

يُحضّر أكسيد السماريوم (Sm_2O_3) غالبًا من مركبات السماريوم القابلة للذوبان مثل نترات السماريوم ($Sm(NO_3)_3$) أو كربونات السماريوم ($Sm_2(CO_3)_3$)، وذلك عبر تسخينها بوجود الأوكسجين أو في أجواء هوائية عند درجات حرارة عالية.

تُعد الطريقة التقليدية الأكثر شيوعًا هي التحلل الحراري لنترات السماريوم، حيث يتم تسخين النترات عند درجة حرارة تقارب ٦٠٠–٨٠٠ درجة مئوية، مما يؤدي إلى تفككها وتكوين Sm_2O_3 كناتج صلب، بالإضافة إلى الغازات الثانوية مثل NO_2وO_2.

طريقة أخرى فعالة هي الترسيب الرطب، حيث يُذاب ملح السماريوم في الماء ثم يُضاف إليه عامل قاعدي مثل هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) أو الأمونيا (NH_4OH) لتكوين هيدروكسيد السماريوم($Sm(OH)_3$) ، والذي يتم غسله وتجفيفه ثم تكليسه (Calcination) عند درجات حرارة ٨٠٠–١٠٠٠ درجة مئوية للحصول على أكسيد السماريوم البلوري .

كما يمكن استخدام الطريقة الحرارية المائية (Hydrothermal) لتحضير أكسيد السماريوم النانوي، حيث توضع محاليل الأملاح في أوتوكلاف مغلق تحت ضغط وحرارة عالية (حوالي ١٥٠–٢٠٠ °C) لمدة ساعات، فتنتج جسيمات نانوية من Sm_2O_3 بانتظام بلوري عالٍ.

في المجال الصناعي، تُستخدم خامات تحتوي على السماريوم مثل المونازيت أو الباستناسيت، والتي يتم استخلاص السماريوم منها عبر عمليات استخلاص معقدة تتضمن الاستخلاص بالمذيبات والتبادل الأيوني، يليها التركيز والتحميص لإنتاج Sm_2O_3 النقي.

٣,٣- الخواص الكيميائية لأكسيد السماريوم(Sm_2O_3) :

يُظهر أكسيد السماريوم (Sm_2O_3) خصائص كيميائية نموذجية لأكاسيد اللانثانيدات الثلاثية التكافؤ، ويُعد مركبًا قاعديًا يتفاعل بسهولة مع الأحماض ليُكوّن أملاح السماريوم. فعند تفاعله مع حمض الهيدروكلوريك (HCl) أو حمض الكبريتيك(H_2SO_4) ، ينتج عن ذلك كلوريد السماريوم ($SmCl_3$) أو كبريتات السماريوم ($Sm_2(SO_4)_3$) على التوالي، مع إطلاق الماء.

يتمتع Sm_2O_3 بثبات حراري عالٍ، لكنه يمكن أن يتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون أو بخار الماء عند درجات حرارة مرتفعة، مُكوّنًا كربونات أو هيدروكسيدات، لا يذوب في الماء، إلا أن نشاطه الكيميائي يزداد عند تحويله إلى شكل نانوي، حيث يصبح أكثر تفاعلًا في الأوساط الحمضية أو القاعدية .

كيميائيًا، يحتوي Sm_2O_3 على أيوناتSm^{3+} ، مما يمنحه قدرة على تكوين معقدات مع العديد من العوامل المخلبية مثل EDTA. كما يتمتع بخصائص مختزِلة خفيفة، ويمكن أن يدخل في تفاعلات كيميائية حرارية عالية الحرارة، خاصة في تحضير السبائك أو المواد المغناطيسية.

يُظهر سلوكًا مستقرًا في الأجواء المؤكسدة، ولكنه قد يتغير في أجواء مختزلة إلى أشكال أقل أكسدة مثل SmO أوSm_2O_{3-x}.

٣,٤- الخواص الفيزيائية لأكسيد السماريوم (Sm_2O_3) :

يُعد أكسيد السماريوم (Sm_2O_3) من الأكاسيد الأرضية النادرة المهمة، ويمتاز بخصائص فيزيائية مميزة تجعله مناسبًا لتطبيقات صناعية وتقنية متعددة. يظهر هذا الأكسيد على شكل مسحوق بلوري أبيض مائل إلى الصفرة، وله كثافة عالية تبلغ حوالي ٨,٣٥ غرام/سم^3. تبلغ درجة انصهاره حوالي ٢٣٣٥ درجة مئوية، مما يعكس استقراره الحراري الكبير.

بلوريًا، يتبلور Sm_2O_3 في النظام المكعّبي (cubic) أو أحيانًا السداسي (hexagonal)حسب ظروف التحضير، وينتمي إلى فئة البلورات ثلاثية التكافؤ من اللانثانيدات .

من الناحية البصرية، يمتلك Sm_2O_3 شفافية جزئية في مجال الأشعة تحت الحمراء، ما يجعله مادة فعالة في تصنيع الزجاج الخاص والليزرات. أما من الناحية المغناطيسية، فهو يُظهر سلوكًا بارامغناطيسيًا عند درجة حرارة الغرفة بسبب وجود أيوناتSm^{3+} ، ولكنه قد يظهر خصائص مغناطيسية أكثر تعقيدًا عند درجات حرارة منخفضة. كذلك، فإن المساحة السطحية للمادة تزداد بشكل ملحوظ عند تحضيرها بصيغة نانوية، مما يُعزز من فعاليتها في التطبيقات التحفيزية والبصرية.

٣,٥- نظائر أكسيد السماريوم

(Sm_2O_3) يحتوي أكسيد السماريوم (Sm_2O_3) على مجموعة من النظائر المستقرة والمشعة للعنصر سماريوم(Sm) ، الذي يحمل العدد الذري ٦٢. توجد في الطبيعة سبعة نظائر للسماريوم، من بينها خمسة نظائر مستقرة، وهي Sm-144, Sm-149, Sm-150, Sm-152, Sm-154، وتشكل الغالبية العظمى من التركيب النظيري للعنصر في الطبيعة.

من بين هذه النظائر، يتميز النظير Sm-149بأهمية خاصة في التطبيقات النووية، حيث يتمتع بمقطع امتصاص نيوتروني عالٍ، مما يجعله فعالاً في امتصاص النيوترونات الحرارية في المفاعلات النووية، ويُستخدم كعنصر مساعد في التحكم بمعدل التفاعل النووي .كما توجد نظائر مشعة مثل Sm-147، وهو نظير طبيعي له عمر نصف طويل جداً يُقدّر بحوالي ١,٠٦ × 10^{11} سنة، ويُستخدم في التأريخ الجيولوجي (Sm-Nd dating) أما النظائر الأخرى مثل Sm-151، فهي تنتج كنواتج انشطار في المفاعلات النووية، وتُستخدم في بعض التطبيقات البحثية .إذًا، فإن أكسيد السماريوم (Sm_2O_3) المحضّر من السماريوم الطبيعي يحتوي عادة على خليط من هذه النظائر بنسب موزونة، ويعتمد التركيب النظيري النهائي على مصدر الخام المستخدم وظروف المعالجة الكيميائية .

٣,٦- الدور البيولوجي لأكسيد السماريوم(Sm_2O_3)

لا يُعد أكسيد السماريوم (Sm_2O_3) من المركبات ذات الدور الحيوي المعروف في الأنظمة البيولوجية الطبيعية، إذ أن السماريوم كعنصر أرضي نادر لا

يؤدي وظائف بيولوجية أساسية في الكائنات الحية مثل العناصر الغذائية الأساسية (كالحديد أو الكالسيوم).

ومع ذلك، فقد أظهرت بعض الدراسات الحديثة أن مركبات السماريوم، بما في ذلك أكسيده، قد تُظهر نشاطًا بيولوجيًا محدودًا في ظروف مخبرية محددة. فقد وُجد أن بعض أشكال Sm_2O_3 النانوية تمتلك خصائص مضادة للبكتيريا تجاه سلالات معينة مثل E. coli وStaphylococcus aureus، ويرجع ذلك إلى تفاعل الجسيمات النانوية مع الأغشية الخلوية للبكتيريا والتسبب في تعطيل بنيتها .

من جهة أخرى، تشير الأبحاث إلى أن تراكم السماريوم أو أكاسيده في الأنسجة الحية قد يكون سميًا عند التعرض المزمن أو بتركيزات عالية، خاصة في الكبد والعظام. يُمتص السماريوم ببطء في الجهاز الهضمي، ولكن عند استنشاق جزيئاته الدقيقة أو النانوية، يمكن أن يُختزن في الرئتين ويسبب تأثيرات التهابية. لذا يُصنّف Sm_2O_3 ضمن المواد التي يجب التعامل معها بحذر في التطبيقات الطبية أو البيئية، خاصة في شكله النانوي .

٣,٧- تطبيقات أكسيد السماريوم(Sm_2O_3) :

أ- المغناطيسات الدائمة :

- يدخل في تصنيع مغناطيسات سماريوم-كوبالت ($SmCo_5$ و Sm_2Co_{17})
- تُستخدم هذه المغناطيسات في المحركات الدقيقة، أجهزة الرنين المغناطيسي، وتطبيقات الفضاء .

ب- المفاعلات النووية :

- يُستخدم كمادة ماصة للنيوترونات، بفضل وجود نظير Sm-149 .
- يساهم في ضبط معدل التفاعل النووي .

ج- الصناعات الزجاجية والبصرية:

- يُضاف إلى الزجاج لإنتاج عدسات تمتص الأشعة تحت الحمراء .
- يُستخدم في تصنيع المرشحات الضوئية والنوافذ المقاومة للحرارة.

د- الليزرات:

- يدخل في تركيب بعض الليزرات الصلبة، خاصة في مجالات الاتصالات والطب.

ه- التحفيز الكيميائي :

- يُستخدم كمحفز أو مساعد محفز في تفاعلات الأكسدة والاختزال .

- فعّال في التطبيقات البيئية مثل معالجة الغازات الملوثة.

و- خلايا الوقود :

- يدخل في تركيب المواد الموصلة للأيونات في خلايا الوقود الصلبة .

ز- التطبيقات الطبية والبيئية (عند استخدامه في الشكل النانوي) :

- أظهر خصائص مضادة للبكتيريا ضد بعض السلالات .
- يُستخدم في أبحاث تنقية المياه ومكافحة الملوثات العضوية

الخاتمة

في ختام هذا البحث، الذي تناول دراسة المركبات النانوية المحضّرة بطريقة التحلل الحراري لأوكسيد السماريوم(Sm_2O_3) ، تبيّن أن هذه الطريقة تُعد من الأساليب الفعالة والبسيطة لتحضير مواد نانوية ذات خصائص مميزة، من حيث البنية البلورية، والحجم النانوي، والاستقرار الكيميائي.

وقد أظهرت النتائج أن الخصائص التركيبية والمورفولوجية لأوكسيد السماريوم المحضّر تعتمد بشكل كبير على ظروف التحضير مثل درجة الحرارة، ونوع المركب الطليعي، ومدة التفاعل .كما أكّد البحث على الإمكانات الواسعة لاستخدام هذا المركب النانوي في تطبيقات متعددة، كالمجالات الإلكترونية، والتحفيز، وأجهزة الاستشعار، وذلك بفضل خواصه الفيزيائية والكيميائية الفريدة.

ونوصي بإجراء المزيد من الدراسات المستقبلية لتطوير طرق التحضير، وتحسين كفاءة المواد المنتجة، وتوسيع نطاق استخدامها في التطبيقات الصناعية والتكنولوجية المتقدمة .

وبهذا نكون قد ساهمنا في إلقاء الضوء على أهمية أوكسيد السماريوم النانوي، وفتحنا المجال أمام بحوث أكثر تخصصًا تخدم مسيرة التطور العلمي في هذا المجال الحيوي

المصادر والمراجع

1. (National Nanotechnology Initiative) الهيئة الأمريكية الوطنية لمبادرة النانو
2. Bhushan, B. (Ed.). (2017). Springer Handbook of Nanotechnology. Springer.
3. Whitesides, G. M. (2005). “Nanoscience, nanotechnology, and chemistry”. Small, 1(2), 172–179.
4. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nanotechnology
5. Apply nanotech to up industrial, agri output

نسخة محفوظة ٢٠١٢ -٠٤-٢٦ على موقع واي باك مشين.،

(The Daily Star Bangladesh)، ١٧ April 2012. "نسخة مؤرشفة". مؤرشف من الأصل في ٢٠١٢-١٠-٢٧. اطلع عليه بتاريخ ٢٠١٧-١٢-٢٣.

6. "Wireless Nanocrystals Efficiently Radiate Visible Light ." مؤرشف من الأصل في ٢٠١٢-١١-١٤. اطلع عليه بتاريخ ٢٠١٥-٠٨-٠٥.
7. Mashaghi ،S ؛Jadidi ،T ؛Koenderink ،G ؛Mashaghi ،A. "Lipid Nanotechnology". Int. J. Mol. Sci :١٤ ع. ٢٠١٣ ج. ٤٢٤٢–٤٢٨٢. مؤرشف من الأصل في ٢٠١٣-٠٩-٢٧.
8. Prasad ،S. K. (2008). Modern Concepts in Nanotechnology. Discovery Publishing House .٣٢–٣١ ص. ISBN:978-81-8356-296-6.
9. Allhoff ،Fritz ؛Lin ،Patrick ؛Moore ،Daniel (2010). What is nanotechnology and why does it matter?: from science to ethics. John Wiley and Sons .٥–٣ ص. ISBN:978-1-4051-7545-6.
10. Kahn ،Jennifer (2006). "Nanotechnology". National Geographic ع. ٢٠٠٦ ج. June: 98–119.
11. Rodgers, P. (2006). "Nanoelectronics: Single file". Nature Nanotechnology. DOI:10.1038/nnano.2006.5. ISSN:1748-33.

12. Byrappa, K. & Yoshimura, M. (2001). Handbook of Hydrothermal Technology.
13. Ramasamy, P. & Anbuselvan, C. (2017). Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences.
14. Cushing, B. L. et al. (2004). Chemical Reviews, 104(9), 3893–3946.
15. Ramasamy, P. & Anbuselvan, C. (2017). Hydrothermal Method: A Promising Route for the Synthesis of Nanomaterials In:

Journal of Chemical and Pharmaceutical .

Ramasamy, P., & Anbuselvan, C. (2017).

“Hydrothermal Method: A Promising Route for the Synthesis of Nanomaterials” Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences.

16. Zhou, G., & Li, L. (2011). “Hydrothermal Synthesis of Nanostructured Materials” Progress in Chemistry.
17. Ramasamy, P. & Anbuselvan, C. (2017). Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences.
18. Byrappa, K. & Yoshimura, M. (2001). Handbook of Hydrothermal Technology.
19. Wikipedia: Hydrothermal synthesis
20. Chemistry Europe: Hydrothermal Synthesis
21. Byrappa, K., & Yoshimura, M. (2001). Handbook of Hydrothermal Technology.
22. Ramasamy, P., & Anbuselvan, C. (2017). Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences.
23. Wang, Y. et al. (2008). Materials Letters.
24. Byrappa, K. & Yoshimura, M. (2001).

Handbook of Hydrothermal Technology: A Technology for Crystal Growth and Materials Processing. Academic Press.

25. Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). Chemistry of the Elements (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
26. Gschneidner, K. A., & Eyring, L. (2000). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Vol. 30. Elsevier.
27. Ropp, R. C. (2013). Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds. Elsevier.
28. Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). Chemistry of the Elements. 2nd Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.
29. Gschneidner, K. A., & Eyring, L. (Eds.). (2000). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths. Elsevier.
30. Weeks, M. E. (1933). The Discovery of the Elements. Journal of Chemical Education, 10(4), 221–243.
31. Ropp, R. C. (2013). Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds. Elsevier.
32. Gschneidner, K. A., & Eyring, L. (2000). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths.
33. Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). Chemistry of the Elements.
34. Rao, C. N. R., & Gopalakrishnan, J. (1997). New Directions in Solid State Chemistry.
35. PubChem – Samarium(III) oxide:

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14786

36. Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). Chemistry of the Elements. 2nd ed.
37. Gschneidner, K. A. & Eyring, L. (2000). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths.
38. Ropp, R. C. (2013). Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds.
39. PubChem Database – Samarium(III) oxide:

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14786

40. Gschneidner, K. A., & Eyring, L. (2000). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths.
41. Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). Chemistry of the Elements.
42. Wells, A. F. (1984). Structural Inorganic Chemistry. Oxford University Press.
43. PubChem – Samarium(III) oxide:

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14786

44. Audi, G., et al. (2003). "The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties." Nuclear Physics A, 729(1), 3–128.
45. De Laeter, J. R., et al. (2003). "Atomic weights of the elements: Review 2000." Pure and Applied Chemistry, 75(6), 683–800.
46. Firestone, R. B., & Shirley, V. S. (1996). Table of Isotopes. 8th Edition. Wiley-Interscience.
47. Krane, K. S. (1988). Introductory Nuclear Physics. Wiley.
48. IAEA – Live Chart of Nuclides:

https://www.nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html

Tang, S., et al. (2013). "Antibacterial effect of nano-sized samarium oxide." Materials Science and Engineering: C, 33(1), 435–441.

49. Liu, Y., et al. (2010). "Samarium oxide-based catalysts for environmental applications." Applied Catalysis B: Environmental, 96(1–2), 408–414.
50. Ropp, R. C. (2013). Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds. Elsevier. 5. Xu, Z., et al. (2014). "Preparation and Characterization of Nano-Sized Samarium Oxide." Journal of Rare Earths, 32(6), 551–555.