جامعة بابل – كلية العلوم
قسم الكيمياء
الدراسات الاولية

الكيمياء الفيزيائية- السنة الدراسية الثالثة
الفصل الدراسي الأول
العام الدراسي 2024-2025

محاضرات كيمياء النانو

أ.د.عباس عبد علي دريع الصالحي
sci.abbas.abid@uobabyoln.edu.iq

المحاضرة السابعة

توصيف المواد النانوية مجهريا Microscopic Identification of nanomaterials

المقدمة

هناك أجهزة متنوعة لفحص وتوصيف التراكيب النانوية على اختلاف أنواعها وهيئاتها، وهذه النوعية من الأجهزة تكون ذات دقة وكفاءة عالية وتحتاج إلى كادر متمرس على استخدامها وتكون هذه الأجهزة عادة مرتبطة بحواسيب وتُدار ببرامج خاصة، إضافةً إلى كونها باهظة الثمن. تستطيع هذه الأجهزة أن تعطي معلومات واسعة عن التراكيب النانوية من حيث الهيئة والتركيب الداخلي والالكتروني. تكون العينات على هيئة مواد صلبة بهيئة شريحة أو باودر أو بالحالة السائلة، كما إن بعض الأجهزة تحتاج إلى تحضير العينة بشكل معين لغرض فحصها والبعض الآخر لا يحتاج إلى مثل هذا التحضير ويمكن تلخيص مساوى المجاهر بالرغم من فوائدها الكبيرة وكما يلي:

1- ارتفاع تكاليف اعداد العينات في معظمها واجراء القياسات وباختلاف انماطها.
2- ارتفاع تكاليف الصيانة والادامة للمجاهر.
3- الحاجة الى خبرة ومهارة عالية في العمل عليها.
4- الحاجة الى طبقة رقيقة من الذهب على العينات في بعض منها للسماح بالإليكترونات بالانعكاس الجيد من على سطوح العينات.
5- تتطلب حيزا ذو مساحة كبيرة لغرض تنصيبها ووضعها داخل المختبرات المختصة.

ومن اهم تقنيات الأجهزة ما يلي:

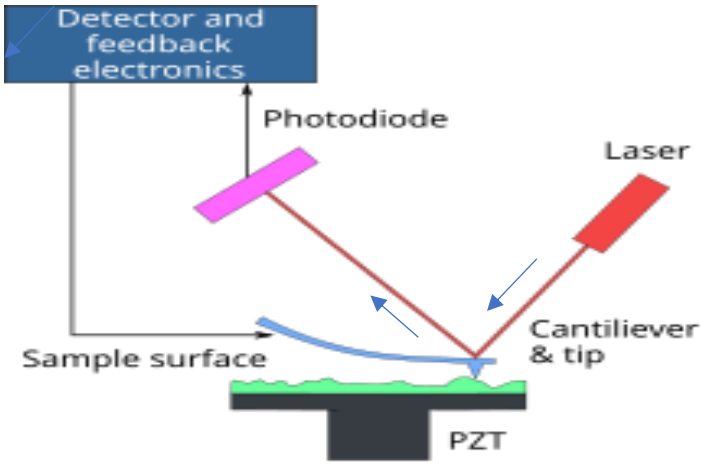
1-7 مجهر القوة الذرية AFM (Atomic Force Microscope): وهو مجهر يعطي معلومات دقيقة عن سطح العينة على المستوى الذري، حيث يستخدم مجسات تطلق ضوء ليزر فينعكس بشدد متغايرة من السطح فيسجلها الكشاف على هيئة تضاريس تمثل تضاريس سطح المادة النانوية.

يستخدم مجهر الطاقة الذرية في معرفة تضاريس السطوح ذات الابعاد النانوية وحتى الميكرونية.

وكذلك يستخدم في قياسات مثل قياس مرونة الجزيئات النانوية والميكرونية و قياس طاقة الالتصاق بين الجزيئات الكيميائية والجزيئات النانوية والميكرونية .

مبدأ عمل مجهر القوة الذرية

الشكل 7-1 يمثل مخطط توضيحي لمجهر القوة الذرية حيث ان المجهر يكون ذو ذراع يبلغ عرضه 100 ميكروميتر ويمكن ان يصل إلى 20 ميكروميتر او اقل.



الشكل 7-1 . مخطط مجهر القوة الذرية

مجهر القوة الذرية مزود بذراع cantilever في نهايته مجس probe مكون من رأس حاد يعرف بالـ tip يستخدم لمسح سطح العينة. تكون الذراع مصنوعة من مادة السليكون (نيتريد السيليكون) ذو نصف قطر يصل الى بضع نانومترات. عندما يقترب رأس المجس من سطح العينة تتولد قوة بين رأس المجس وسطح العينة تؤدي هذه القوة إلى انحراف في الذراع بناء على قوة قانون هوك. وقد تكون القوة المتبادلة قوة ميكانيكية أو قوة فاندرفال أو قوة كهربائية ساكنة أو قوة مغناطيسية أو قوة رابطة كيميائية أو غيرها من أنواع القوة وهذا حسب نوع السطح الذي يتم دراسته.

يمكن دراسة العديد من أنواع هذه القوة باستخدام مجسات خاصة وعندها يسمى المجهر باسمها مثل مجهر القوة المغناطيسية magnetic force Microscope (MFM) أو ميكروسكوب المسح الحراري scanning thermal microscopyأو غيره.

كل هذه المجاهر تحدث القوة المتبادلة باختلاف أنواعها انحراف في ذراع ميكروسكوب القوة الذرية يقاس هذا الانحراف بواسطة انحراف شعاع ليزر عن مرآة مثبتة على ذراع المجهر. وشعاع الليزر المنعكس يرصد على مصفوفة خطية من الفوتودايود .Photodiodes وهناك طرق أخرى لقياس الانحراف مثل مقياس التداخل الضوئيoptical interfermetry ، أو باستخدام بيزوالكترك أو مجس السعة الكهربائية. وحسب طريقة قياس الانحراف يتم تصميم ذراع المجهر فمثلا لو كانت طريقة القياس تعتمد على الكهرباء الانضغاطية (بيزوالكتروك) فان الذراع تصنع من مواد بيزوالكتروك. ولكن تعتبر طريقة قياس الانحراف بشعاع الليزر الطريقة الادق والأكثر استخداما. إذا تم مسح المجس عند ارتفاع معين من سطح العينة فقد يكون هناك خطورة على المجس بان يصطدم بالسطح، ولتجنب حدوث هذا يتم استخدام تغذية عكسية للتحكم في المسافة بين المجس وسطح العينة لتحافظ على القوة المتبادلة بينهما ثابتة.

يتم تثبيت العينة على قاعدة من مادة بيزوالكترك تحرك العينة في الاتجاه z للحفاظ على قيمة ثابتة للقوة المتبادلة بين المجس وسطح العينة وكذلك تحريك العينة في البعدين x و .y وهناك أنواع أخرى من مجاهر القوة الذرية تستخدم 3 بلورات بيزوالكتريك كل بلورة مسئولة عن اتجاه من اتجاهات الحركة الثلاثة. وفي التصاميم الحديثة يتم تثبيت الذراع على ماسح بيزوالكتريك افقي في حين يتم تحريك العينة فقط في الاتجاهين x و .y وفي النهاية نحصل على خريطة لمساحة تمثل طبوغرافيا سطح العينة. يمكن تشغيل مجهر القوة الذرية بعدة انماط تشغيل وهذا حسب الاستخدام المطلوب ونوع الفحص المراد. وبصفة عامة يمكن تقسيم انماط التشغيل بنوعين هما نمط تشغيل الاتصال الساكن أو نمط التشغيل الديناميكي أو نمط عدم الاتصال.

انماط التشغيل واخذ الصور

أولا:- نمط الاتصال

هذا النمط يستخدم الانحراف في رأس المجس كإشارة للتغذية العكسية ولان قياس الإشارة في هذا النمط يتعرض للضجيج يتم استخدام ذراع اقل صلابة لتكبير مقدار إشارة الانحراف. ويقرب المجس من سطح العينة بحيث يحدث قوة تنافر تنتج عن الالكترونات على سطح العينة والكترونات المجس. ويتم الحفاظ على ثبات مقدار من قوة التنافري هذه أثناء المسح من خلال المحافظة على بقاء الانحراف ثابتاً.

ثانيا:- النمط الديناميكي أو نمط عدم الاتصال

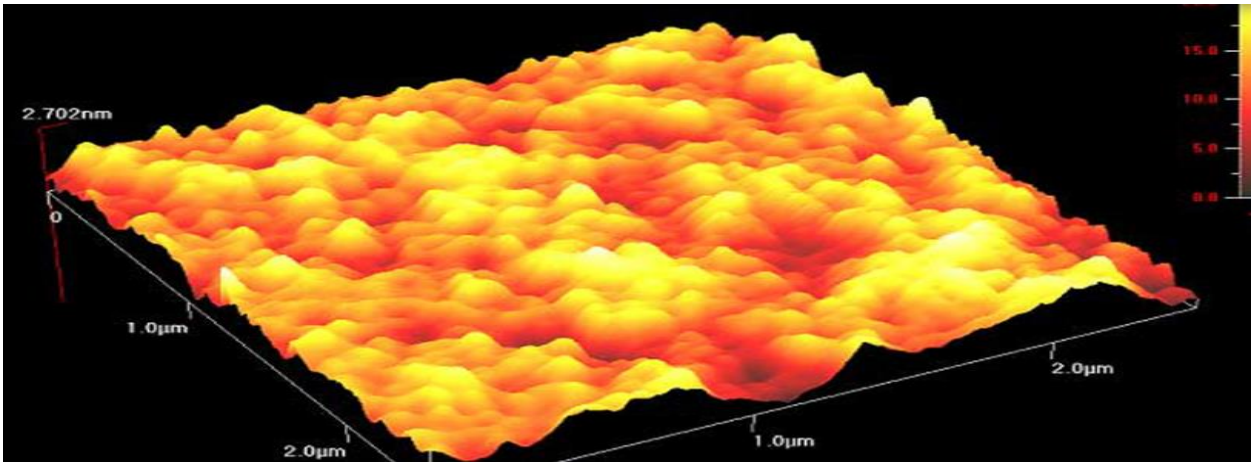
في هذا النمط لا يكون المجس متصلا مع سطح العينة. بل يكون الذراع متذبذب عند تردد أكبر بقليل من تردد الرنين حيث تكون سعة الذبذبة في حدود بضع نانومتر (اقل من 10 نانومتر). وتكون القوة المتبادلة بين المجس وسطح العينة هي قوة فاندرفال van der Waals وهي تكون مسيطرة عند تلك المسافة أي في حدود 1 إلى 10 نانومتر فوق سطح العينة، وهذه القوة تعمل على تقليل تردد الرنين للذراع. هذا الانخفاض في تردد الرنين يستخدم في نظام التغذية العكسية الذي يقوم بالحفاظ على جعل سعة الاهتزازة ثابتا من خلال إعادة ضبط المسافة بين المجس والسطح. وبقياس المسافة بين المجس والسطح أثناء المسح في الاتجاهين x,y يتم رسم الصورة لطوبوغرافية سطح العينة باستخدام برامج معدة لذلك. هذا النمط لا يتعرض رأس المجس لأي ضرر لا نه لا يحتك مع سطح العينة مثلما يحدث مع النمط السابق. وهذا يجعل من نمط التشغيل الديناميكي مفضل أكثر وخصوصا في حالة التعامل مع العينات اللينة.

قياس انحراف ذراع مجهر القوة الذرية

ينعكس شعاع ليزر دايود على الجانب الخلفي للذراع ويتم التحكم فيه من خلال كاشف حساس للموضع position sensitive detector (PSD)يتكون من فوتوديودين موضوعين بالقرب من بعضهما البعض والمخرج من كل فوتودايود موصل في مكبر differential amplifier. الإزاحة الزاوية للذراع تجعل أحد الديودين يلتقط إشارة أكبر من الديود الآخر. وهذا يعطي إشارة تتناسب مع انحراف الذراع. وتصل حساسية الجهاز إلى كشف انحراف اقل من 10 نانومتر. ويمكن تكبير التغير في زاوية الشعاع بزيادة طول مسار شعاع الليزر بضع سنتيمترات.

التعرف على الذرات وتميزها

يستخدم مجهر القوة الذرية للحصول على صور للذرات ولتحريكها أيضا على أسطح المواد. فالذرة على رأس المجس تتحسس الذرات تباعا ذرة تلو ذرة على سطح العينة وتشكل قوة كيميائية مع كل ذرة. ولان هذه التفاعلات تغير بشكل دقيق تردد اهتزاز رأس المجس، فإنها يمكن ان تقاس وترسم. وعلى هذا الأساس تم التميز بين ذرات السليكون والرصاص على سطح سبيكة، من خلال مقارنة البصمات الذرية وتكبيرها. حيث تم ملاحظة ان رأس المجس يتفاعل مع ذرات السليكون بقوة في حين يتفاعل مع ذرات الرصاص بقوة اقل. ولهذا فان الذرات المختلفة يمكن ان تتميز في صورة مصفوفة أثناء مرور رأس المجس على سطح العينة. الشكل 7-2 يمثل صورة طوبوغرافية لسطح مادة نانوية.



الشكل 7-2. صورة طوبوغرافية لسطح مادة نانوية بوساطة مجهر القوة الذرية.

المزايا

اهم المزايا في مجهر القوة الذرية

1- قدرات الدقة العالية تفوق بكثير تلك الخاصة بمجاهر المسح الإلكتروني (SEM) ، ومقاييس الخشونة الضوئية. تلبي البيانات ثلاثية الأبعاد لسطح العينة المتطلبات الميكروسكوبية المتزايدة للبحث والإنتاج وفحص الجودة.

2- غير مدمر للعينات، قوة التفاعل بين المجس وسطح العينة أقل من 10-8 نيوتن، وهو أقل بكثير من ضغط مقياس خشونة، لذلك لن يتلف العينة ، ولا يتطلب الفحص المجهري الإلكتروني طلاء العينات غير الموصلة للكهربائية.

3- يمكن استخدامه في مجموعة واسعة من التطبيقات، مثل مراقبة السطح، وقياس الحجم، وقياس خشونة السطح، وتحليل حجم الجسيمات، والمعالجة الإحصائية للنتوءات والحفر، وتقييم ظروف تكوين الفيلم ، وقياس خطوات حجم الطبقة الواقية ، والتسطيح (تقييم الأفلام العازلة للطبقة البينية)، وتقييم طلاء VCD، وتقييم عملية معالجة الاحتكاك للفيلم الموجه ، وتحليل العيوب ، إلخ.

4- يحتوي البرنامج على وظائف معالجة قوية، ويمكن ضبط حجم عرض الصورة ثلاثية الأبعاد، وزاوية الرؤية، ولون العرض، واللمعان بحرية. ويمكن اختيار الشبكة، خط الكنتور، عرض الخط. الإدارة الكلية لمعالجة الصور، تحليل الشكل المقطعي والخشونة، تحليل الطبوغرافيا والوظائف الأخرى.

5- يستخدم مجهر القوة الذرية مسبارا مدببا حادا لسبر معالم السطح مع تكبير عالي يصل الى مليون مرة للصورة المجسمة ثلاثية الابعاد مقارنة ببقية أنواع المجاهر الأخرى.

ومن عيوب جهاز AFM

1- حجم الصورة. يعمل على مساحة 150*150 مايكرومتر وبعمق 10-20 ميكروميتر. ولكن هذا العيب تم التعامل معه من خلال تطوير أجهزة AFM بواسطة شركة IBM تعمل بمجسين متوازيين.
2- استخدام رأس مجس غير مناسب قد يعطي بعض العيوب في الصورة الناتجة.
3- يعمل المجهر ببطء ولبضعة دقائق حتى يعطي صورة. وهذا التأخير يؤدي إلى انزياح حراري في الصورة مما يجعل ميكروسكوب القوة الذرية غير مناسب للقياسات الدقيقة للمسافات الطوبوغرافية على الصورة.
4- تتأثر صور المجهر بالتأخير بالنسبة للمواد النانوية ذات الانضغاطية الكهربائية (تنضغط وتتمدد بتطبيق جهد كهربائي(صورة غير واضحة) والتداخل في الإشارات الملتقطة أثناء المسح .

2-7 المجهر الالكتروني الماسح (Scan Electron Microscope) SEM

مجهر الكتروني يقوم بتصوير سطح العينة عن طريق حزمة الكترونية يتم تركيزها على السطح المدروس، فتتفاعل مع الكترونات العينة والشعاع المتشتت منها يمكن تمثيله على شكل صورة للعينة، تصل قوة تكبيره إلى نصف مليون مرة، ومنها نعرف درجة جودة العينة.

يعد المجهر الإلكتروني الماسح أحد المجاهر الإلكترونية الذي يصوّر فيه سطح العينة عن طريق مسحها بواسطة أشعة من الإلكترونات عالية الطاقة، بحيث تتعامل الإلكترونات مع الذرات المكوّنة سطح العينة؛ فتنتج عنها إشارات تتضمّن معلومات عن طبوغرافية السطح، وتركيبه، وخصائص أخرى، مثل: التوصيلية الكهربية وتحتوي أنواع الإشارات الناتجة عن إلكترونات ثانوية، وأخرى متشتتة إلى الخلف، وأشعة أكس المميزة، والضوء (التفلور المهبطي). وتنشأ هذه الإشارات من شعاع الإلكترونات الذي يصطدم بالعينة، ويتعامل معها عند سطحها.

ويلاحظ في نمط الكشف الرئيس، أي التصوير بالإلكترونات الثانوية، أن المجهر الماسح يستطيع إنتاج صور ذات تحليل عال جدا لسطح العينة، وإظهار تفاصيل دقيقة له، قد تصل إلى حجم يتراوح ما بين 1 – 5 نانومترات. الصور المجهرية للماسح تكون ثلاثية الأبعاد، فتساعد على فهم التركيب السطحي للعينة.

وجدير بالذكر أنّ مزايا عمق المجال الكبير، والمدى الواسع للتكبير (عادة يتراوح ما بين 25 مرة إلى 250000 مرة) تكون متوفرة في أغلب أنماط تصوير العينات في المجهر الماسح، وخاصة في التصوير بواسطة الإلكترونات الثانوية.

النمط الثاني من أنماط التصوير الشائعة في المجهر الماسح فهو نمط أشعة أكس المميزة، حيث تنبعث أشعة أكس عندما يعمل شعاع الإلكترونات على نزع إلكترون من الغلاف الداخلي في العينة، وجعله فارغًا مما يؤهّل إلكتروناً آخر ذا مستوى طاقة أعلى من الهبوط، وملء الغلاف السابق الفارغ، والتخلص من طاقته على شكل أشعة أكس. وهذه الأشعة المميزة تستخدم في تعيين تركز عناصر العينة والصور الناتجة عن الإلكترونات المتشتتة إلى الخلف، والتي تنشأ من العينة قد تستخدم أيضًا في تكوين الصور.

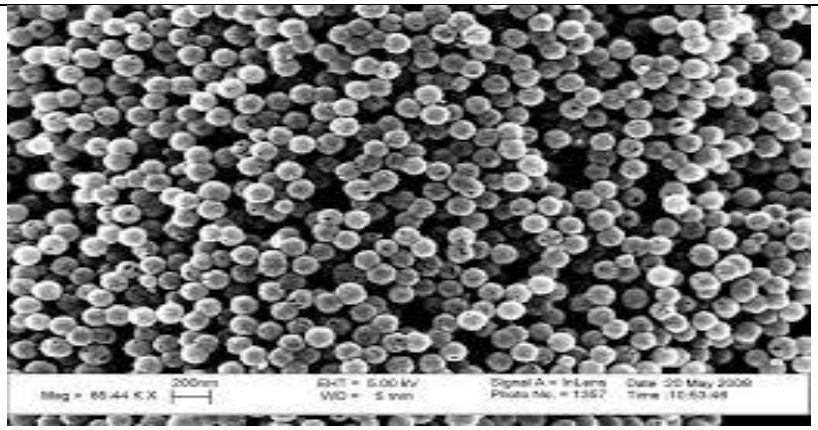
تتلخص الية انبعاث الاليكترونات في المجهر الماسح بالطريقة التالية:

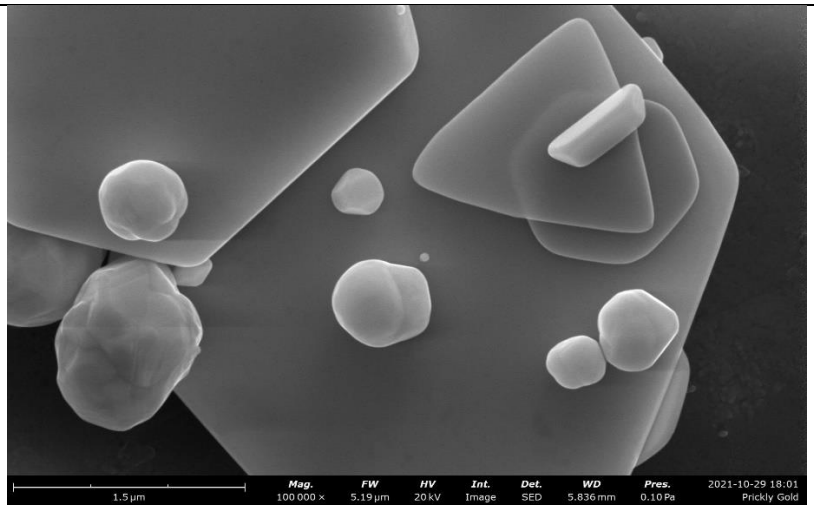
يكون انبعاث الإلكترونات انبعاثاً أيونياً حرارياً من سلك رفيع من التنكستن (قطب سالب)، ومن ثم تتسارع الإلكترونات إلى القطب الموجب. ويستخدم معدن التنكستن عادة في قاذفات الإلكترون الأيونية الحرارية؛ وذلك لكونها أعلى نقطة انصهار، وأقل ضغط بخاري مقارنة بالفلزات الأخرى. كما يمكن أن تنبعث الإلكترونات أيضًا بواسطة قاذفة الانبعاث المجالي، والتي تعد من نوع الكاثود – البارد، أو من نوع شوتكي المحسّن حراريا.

استخدم المجهر الماسح على نطاق واسع في عام 1965 م، ومنذ ذلك الوقت أصبح له دور بارز في عمل الأبحاث الحيوية والجيولوجية، والصناعية .

يتميز بالمميزات التالية:

- يحتوي على قاذفة للحزمة الاليكترونية لمسح العينة.
- وجود مجموعة من العدسات المكثفة تعمل على تكوين حزمة ضيقة من الإلكترونات.
- يصل القطر الحقيقي لبقعة لمسح حوالي 5 nm.
- توجد فيه مجموعة من الملفات الحارفة (توليد مجال مغناطيسي محتث)، مع دائرة تعطي القدرة على جعل الشعاع يمسح العينة.
- عمود المجهر الماسح مفرغ تماما من الهواء. في حين يوجد مسرح العينة وملحقاته (أجهزة تثبيت للعينة) عند قاعدة عمود المجهر.





الشكل 7-3. صورة جهاز المجهر الماسح وبعض العينات المختلفة.

3-7 المجهر الالكتروني النافذ Transmission electron microscopy :(TEM)

المجهر الالكتروني النافذ، يستخدم هذا المجهر ايضاً حزمة الكترونية لفحص العينات يمتاز هذا المجهر بقدرته على النفاذ إلى داخل العينة وبقوة تكبير قد تصل إلى مليون مرة وبالتالي فحص البنية الداخلية للعينة.

يستخدم المجهر التفاعلات بين الإلكترونات والذرات لمراقبة ميزات المواد النانوية لتقدير ما يلي:-

1- البنية البلورية والميزات في بنية مثل الخلع وحدود الحبوب.
2- إجراء التحليل الكيميائي.
3- دراسة نمو الطبقات وتكوينها وعيوبها في أشباه الموصلات.
4- استخدام دقة عالية لتحليل نوعية وشكل وحجم وكثافة الآبار الكمومية والأسلاك والنقاط الكمومية.

يكمن مبدا عمل المجهر من خلال اضاءة حزمة عالية الطاقة من الإلكترونات عبر عينة رقيقة جدًا. يستخدم الإلكترونات بدلاً من الضوء. نظرًا لأن طول موجة الإلكترونات أصغر بكثير من طول الضوء، فإن الدقة المثلى التي يمكن الحصول عليها لصور TEM هي عدد كبير من الأحجام على نحو أفضل من مجهر الضوء. وبالتالي، يمكن أن تكشف TEMs عن أدق تفاصيل البنية الداخلية - في بعض الحالات صغيرة مثل الذرات الفردية.

الية التصوير

1- يتم تركيز شعاع الإلكترونات من قاذفة الإلكترون إلى حزمة صغيرة ورقيقة ومتماسكة باستخدام عدسة المكثف.
2- يتم تقييد هذه الحزمة بواسطة فتحة المكثف، والتي تستثني الإلكترونات ذات الزاوية العالية.
3- يضرب منصة العينة وينتقل أجزاء منها تبعاً لسمك وشفافية الإلكترون في العينة.
4- يركز هذا الجزء المرسل بواسطة العدسة الموضوعية على صورة على شاشة فوسفورية أو كاميرا (CCD)مصاحبة للشحنة المزدوجة.
5- يمكن استخدام فتحات الهدف الاختيارية لتعزيز التباين عن طريق حجب إلكترونات ذات زاوية عالية.
6- يتم تمرير الصورة عبر العمود من خلال العدسات الوسيطة والعرض الضوئي، ويتم تكبيرها على طول الطريق.
7- تضرب الصورة شاشة الفوسفور ويتولد الضوء، مما يسمح للمستخدم برؤية الصورة.

8- تمثل المناطق المظلمة في الصورة تلك المناطق من العينة التي يتم نقل عدد أقل من الإلكترونات خلالها بينما تمثل المناطق الأخف من الصورة تلك المناطق من العينة التي تم نقل المزيد من الإلكترونات خلالها.

تحضير العينات

يجب أن تكون عينة TEM رقيقة بما يكفي لنقل الإلكترونات الكافية لتشكيل صورة مع الحد الأدنى من فقدان الطاقة. لذلك يعد إعداد العينة جانبًا هامًا لتحليل .TEM بالنسبة لمعظم المواد الإلكترونية، فإن التسلسل الشائع لتقنيات التحضير هو

1- قطع الأقراص بالموجات فوق الصوتية، والتنقيط، والطحن الأيوني Dimpling .هي تقنية تحضير تنتج عينة مع منطقة مركزية ضعيفة وحافة خارجية ذات سماكة كافية للسماح بسهولة المناولة.

2- الطحن الأيوني هو تقليديًا الشكل النهائي لإعداد العينات. في هذه العملية، يتم تسريع أيونات الأركون المشحونة إلى سطح العينة عن طريق تطبيق الجهد العالي.

3- يمسح التأكسد الأيوني على سطح العينة المادة الناتجة عن نقل الزخم.

إن المجاهر الإلكترونية النافذة لها دقة أعلى بكثير من المجاهر الضوئية نتيجة الموجة المادية الصغيرة للإلكترونات، مما يمكّن المستخدم من فحص تفاصيل العينة بشكل دقيق إلى درجة صف من الذرات وذلك بشكل يبلغ عشرة آلاف مرة قدرة تكبير مقارنة مع المجهر الضوئي .يمثّل المجهر الإلكتروني النافذ TEM وسيلة تحليل أساسية في العديد من فروع العلوم الطبيعية مثل علم المواد وأبحاث أشباه الموصلات..

الأجزاء الأساسية

أولا:- القاذفة الاليكترونية

إن الغرض من وجود القاذفة الاليكترونية هي توفير حزمة مكثفة من الإلكترونات عالية الطاقة

هناك نوعان رئيسيان من القاذفات: القاذفة الإلكترونية الحرارية (الأكثر استخدامًا) ونظام العدسات الإلكترونية. وهي المكافئ المغناطيسي للعدسات الزجاجية في المجهر البصري وإلى حد كبير، يمكننا أن نجري مقارنات بين الاثنين. على سبيل المثال، يمكن تقريب سلوك جميع العدسات في TEM إلى عمل عدسة زجاج محدبة (متقاربة) على ضوء أحادي اللون. تستخدم العدسة أساسًا لفعل أمرين:

إما أن تأخذ كل الأشعة المنبثقة من نقطة في كائن وتعيد إنشاء نقطة في صورة أو تركيز أشعة متوازية إلى نقطة ضمن المستوى البؤري للعدسة. من المهم جدا وجود مضخة تفريغ لأنه توليد الحزمة الإلكترونية واستخدامها يجب ان يكون في فراغ عالي من 10-4 ملي بار أو أقل. هذا يضمن عدم انحرف الإلكترونات بجزيئات الغاز.

ثانيا:- شاشة العرض عبارة عن شاشة مغطاة بطبقة من المواد الكهرو-فسفورية.

يمكن إمالة الشاشة وعرضها من خلال المنظار. هذه عادة تضخم الصورة من حوالي x10 للمساعدة في حل التفاصيل الدقيقة. لا يلزم وضع الكاميرا والشاشة بدقة لأن عمق تركيز العدسة النهائية كبير جدًا. تسمح مرحلة مقياس الزوايا بعبور العينة وإمالتها في وقت واحد بحيث يمكن فحص كل جزء من العينة في مجموعة متنوعة من الزوايا. يمكن ضبط مرحلة مقياس الزوايا متحد المركز بحيث تظل المنطقة المضيئة للعينة كما هي مائلة المسرح. هذا هو المعروف باسم موقف متحد المركز.

ما هو الفحص المجهري الإلكتروني للإرسال؟

المجهر الإلكتروني للإرسال (TEM) هو تقنية تحليلية تستخدم لتصور أصغر الهياكل في المادة. على عكس المجاهر البصرية ، التي تعتمد على الضوء في الطيف المرئي ، يمكن ل TEM الكشف عن تفاصيل مذهلة على النطاق الذري عن طريق تكبير هياكل النانومتر حتى 50 مليون مرة. وذلك لأن الإلكترونات يمكن أن يكون لها طول موجي أقصر بكثير (حوالي 100,000 مرة أصغر) من الضوء المرئي عند تسريعها عبر مجال كهرومغناطيسي قوي ، وبالتالي زيادة دقة المجهر بعدة أوامر من حيث الحجم.

لتشكيل صورة TEM ، يتم تسريع شعاع الإلكترون عالي الطاقة من خلال عينة رقيقة للغاية "شفافة إلكترونية" ، وعادة ما تكون أرق من 100 نانومتر. يتم وضع سلسلة من العدسات الكهرومغناطيسية والفتحات في جميع أنحاء عمود المجهر لتركيز الشعاع على العينة وتقليل التشوهات وتكبير الصورة الناتجة على شاشة فوسفورية أو كاميرا متخصصة.

يأتي TEM بأشكال مختلفة ، ولكن جميعها تشترك في نفس المبادئ والمكونات الأساسية. النوعان الرئيسيان من أدوات TEM هما TEM التقليدي (يشار إليه أيضا باسم TEM) و STEM (المجهر الإلكتروني لإرسال الماسح). تشمل الاختلافات الأخرى في TEM / AC-S TEMs (حيث يرمز AC إلى "تصحيح الانحراف") و TEM / E-S (حيث يرمز E إلى "بيئي").

TEM لعلوم المواد وتكنولوجيا النانو

يسمح تكبير المقياس الذري للعلماء بعرض اللبنات الأساسية للمواد الوظيفية مثل الجسيمات النانوية المحفزة والبطاريات وأجهزة أشباه الموصلات. يمكن أيضا استخدام حزم الإلكترون المركزة لمعالجة المواد في الموقع ، مما يسمح بدراسة "التصنيع النانوي" والظواهر الجديدة واكتشافها. مستوى التفاصيل على هذا المقياس ليس أقل من مذهل ويوفر طريقة لفهم الروابط بين الهيكل والممتلكات والأداء ، مما يسمح للمهندسين بتصميم المواد النانوية من الأسفل إلى الأعلى.

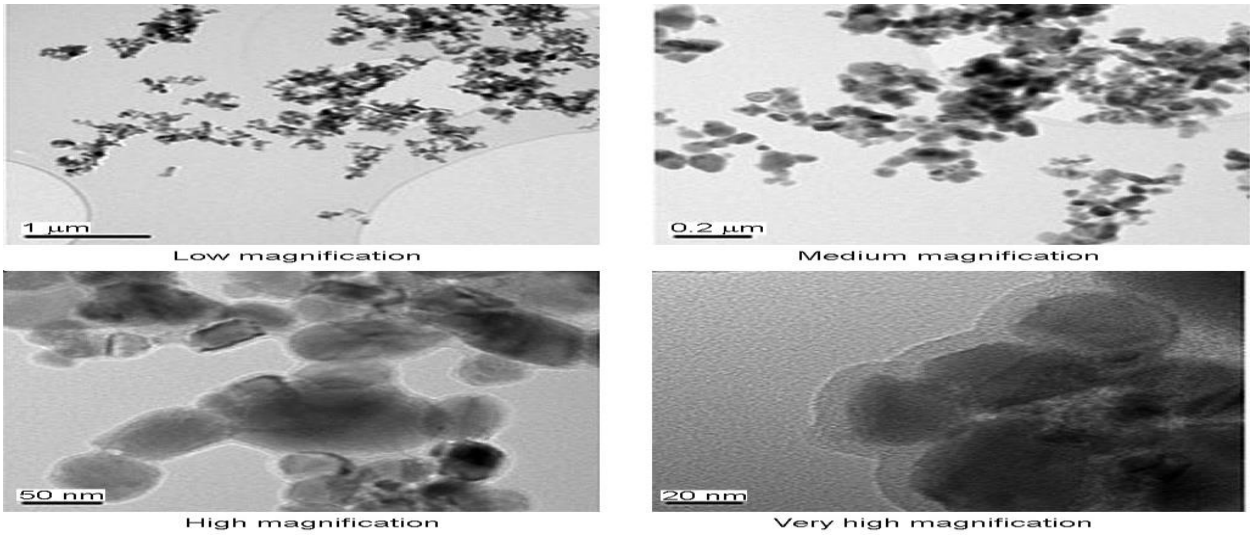
مكونات المجهر الإلكتروني للإرسال

خمس مكونات رئيسية:

1- مصدر الجهد العالي 2- نظام التفريغ 3- عمود المجهر 4-أجهزة الكشف (مثل كاميرات التصوير ومقاييس الطيف) 5-التحكم في أجهزة الكمبيوتر والبرامج

جهد التعجيل

هو جهد المجال الكهربائي المطبق على قاذفة الإلكترون لتسريع شعاع الإلكترون عبر عمود المجهر والعينة في النهاية. تتوافق الفولتية المتسارعة الأعلى مع الأطوال الموجية للإلكترون الأصغر والدقة المحسنة.



الشكل (7-4) صور لبعض العينات المقاس بمجهر النفاذ الاليكتروني.