مجاهر مختبر النانو

إعداد : د.جعفر بن فرحان الشراب

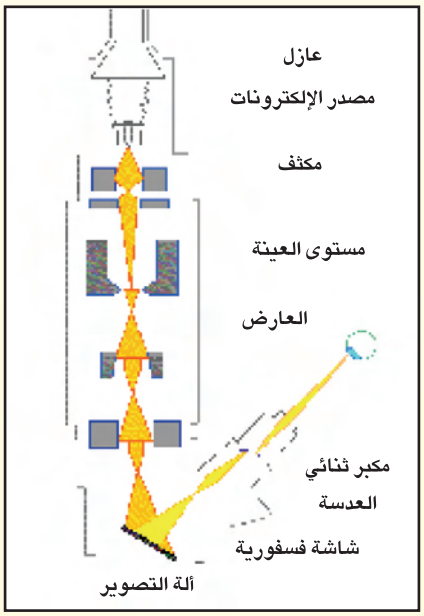
تعرف مجاهر النانو بأنها تلك المجاهر والأجهزة التي تستطيع فحص ورؤية الأشياء بمقياس النانومتر. وفي العصر الحاضر تعددت تلك الأجهزة وتنوعت نتيجة للثورة الهائلة في هذه التقنية والتوجه العالمي نحو الاستفادة منها. وفي الوقت الحاضر هناك ثلاثة مجاهر لا يكاد يخلو منها أي مختبر من مختبرات التقنية متناهية الصغر.

يستعرض هذا المقال تلك المجاهر التي جهزت حديثاً - تعمل حالياً - بالمركز الوطني للتقنية متناهية الصغر التابع **لمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية** من حيث التحديثات التي أدخلت عليها وطريقة عملها والاختلاف فيما بينها.

المجهر الإلكتروني النفّاذ

كان المجهر الضوئي في الماضي الأكثر استخداماً نظراً لسهولته، ونظراً لأن درجة الوضوح في هذا النوع من المجاهر تعتمد على طول موجة الضوء المستخدم. وبما أن طول موجة الضوء المرئي تتراوح ما بين ٤٠٠-٧٠٠نانومتر - كبيرة نسبياً - فإن درجة الوضوح تقل مقارنة بالمجاهر الإلكترونية الأخرى. ومع إمكانية استخدام الأشعة فوق البنفسجية - طولها الموجي أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي - إلا أن ظهور مشكلة الامتصاص قللت من فعالية استخدامها، وحتى الأشعة ذات الطول الموجي الأقصر، مثل الأشعة السينية، لا يمكن استخدامها لأنها تتفاعل مع العينة.

وللتغلب على المشاكل المذكورة قام العالمان **ألبرت بيربوس وجيمس هيلير** عام ١٩٣٧م من جامعة تورنتو: باختراع مجهر يستخدم الإلكترونات بدلاً من الأشعة فيما يعرف بالمجهر الإلكتروني النفاذ (Transmission electron microscope-TEM) وهو عبارة عن: تقنية تصوير تستخدم فيه حزمة من الإلكترونات، بدلاً من الضوء المرئي، من خلال العينة فتتكون صورة مكبرة يمكن مشاهدتها على شاشة فسفورية، أو تطبع على فيلم تصوير، ويمكن ملاحظتها من خلال حساس مثل الـ (CCD Camera). كما يختلف المجهر الإلكتروني النفاذ عن المجهر الضوئي في أن عدساته إلكترومغناطيسية يتم التحكم ببعدها البؤري أو قوتها عن طريق التحكم في التيار المار عبرها؛ لذا فإنه يمكن رؤية ترتيب الذرات بشكل مباشر عن طريق تكوين حزمة من الإلكترونات ذات أقطار معينة، كما أن تحريكها فوق مساحة معينة تعطي معلومات عن التركيب الكيميائي للمادة المراد فحصها.



● شكل (١) الأجزاء الرئيسة للمجهر الالكتروني النفاذ.

يعد المجهر الإلكتروني النفاذ من الأجهزة عالية الدقة في التحليل الكيميائي للعينات بحيث يمكن معرفة أنواع العناصر - المركبات - الموجودة في العينة، وأماكن توزيعها، وتركيبها؛ لذا فإنه يحتاج إلى مهارة عالية ومعرفة كافية بتحليل النتائج، وإلا سوف يحدث اختلاط بين المعلومات المفيدة وغيرها.

● مبدأ العمل

يعتبر مبدأ العمل في المجهر الإلكتروني النفاذ، شكل (١) مشابهاً لمبدأ عمل المجهر الضوئي من حيث أن كلاً منهما يحتوي على عدسات شيئية لتكوين الصور، إلا أنه يتم استبدال الضوء في المجهر النفاذ بحزمة من الإلكترونات منبعثة (Extracted) من مصدر إلكترونات معين يسمى الفتيلة (Filament)، ويكون عادة مصنوع من مادة سداسي لانثيوم البورون (LaB6) أو التنجستون، ثم يتم تسريع هذه الإلكترونات في أنبوب مفرغ تحت ضغط ١٠-٧ **تور** (Torr)* على عدة مراحل لتوليد طاقة تتراوح بين ١٠٠-٤٠٠ كيلو فولت، ثم تمر هذه الإلكترونات خلال عدسة شيئية (Objective Lens) ومن ثم خلال العينة.

* (Torr) وحدة ضغط تساوي ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه ١ ملمتر، وتنسب هذه الوحدة إلى العالم الإيطالي تورشلي مكتشف الضغط الجوي.

يجب أن يكون سمك العينة أقل من ١٠٠ نانو متر من أجل الحصول على معلومات مفيدة، وبعد مرور الإلكترونات خلال العينة فإنها تمر من خلال عدسات وسطية، فيتم تكوين الصورة النهائية إما على لوحة فسفورية أو على سطح (CCD)، بحيث تظهر الصورة على جهاز الحاسوب (CCD Camera).

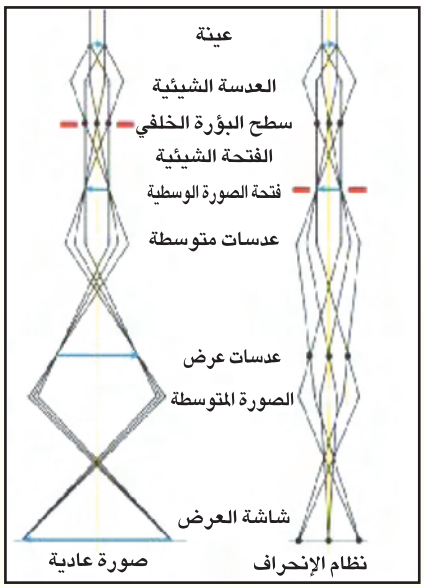
● أنظمة المجهر

يتمتع هذا المجهر بإمكانات عالية نتيجة لاستخدامه عدداً كبيراً من أنظمة التشغيل التي يؤدي كل منها وظائف أو مهام معينة، وبالتالي الحصول على عدة معلومات حسب نظام التشغيل المستخدم (Mode). ويمكن تلخيص تلك الأنظمة فيما يلي:-

*** نظام التصوير العادي:** ويمكن من خلال الأشعة النافذة (Transmitted Beam) تكوين صور ذات تكبير عالٍ تصل إلى ٣٩٠ ألف مرة. وبالتالي إمكانية إعطاء هذا النظام معلومات جيدة عن طبيعة المادة وتركيبها وحجم البلورات في المواد متعددة البلورات.

*** نظام ظاهرة الانحراف (Diffraction Mode):** ويتمثل في قيام العدسة الشيئية ببعثرة الإلكترونات للحصول على طراز معين من الانحراف (Diffraction Pattern-DP)، ثم تكوين صورة لها تستقبل على شاشة فسفورية، أو تطبع على فيلم. ومن أجل اختيار المنطقة التي يراد الحصول على نموذج انحراف لها؛ فإنه يتم إدخال قرص ذي ثقب، ويوضع الثقب على المنطقة المراد دراستها. أما المناطق الأخرى فتكون محجوبة، وهذا يعرف بحاجز الانحراف (Diffraction Aperture). ويوضح الشكل (٢) الفرق بين نظام التصوير العادي ونظام الانحراف.

تكمن أهمية استخدام نظام الانحراف



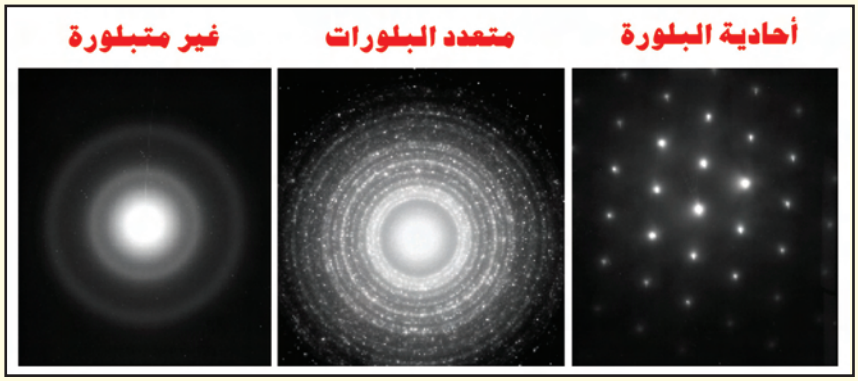
● **شكل (٢) الفرق بين نظام التصوير العادي ونظام الإنحراف في المجهر الإلكتروني النفاذ.**

في معرفة مدى التبلور في العينات المراد دراستها، أو معرفة ما إذا كانت الذرات مرتبة بشكل بلوري أو عشوائي(Amorphous)، كما يتم عن طريق هذا النظام معرفة ما إذا كانت العينة تتكون من بلورة واحدة أو من بلورات متعددة، يوضح الشكل (٣) أمثلة على ذلك.

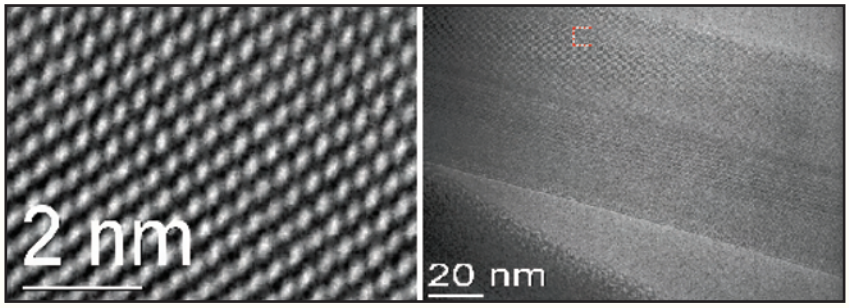
قد لا تكاد تخرج نماذج الانحراف عن ما يبدو في الصور السابقة، إلا أنها قد تكون أكثر تداخلاً، خصوصاً عند وجود أكثر من طور أو مرحلة (Phase). إذ يجب ملاحظة أنه في كل من هذه النماذج الثلاثة توجد أشعة نافذة في المنتصف، وأخرى منحرفة (Diffracted). حيث تعطي المسافة بينهما فكرة عن المسافة بين ألواح البلورة في المواد أحادية البلورة (Single Crystalline) أو متعددة البلورات أن (Poly Crystalline). يلاحظ في المواد المتعددة البلورات فأن مدى الاتصال(Continuity) والكثافة في الدوائر(Rings) ، تعطي فكرة عن كمية المادة (Phase) وحجم البلورات(Crystalline Size) . أضف إلى ذلك أنه عندما يتم تكوين حزمة صغيرة من الإلكترونات بقطر يتراوح بين ٢-٥٠ نانو متر، فإنه يتم دراسة الظواهر أو البلورات ذات حجم أكبر من حجم حزمة الإلكترونات بطريقة النفاذ. ويمتاز (TEM)بأنه هو الجهاز الوحيد الذي يحوي هذا النظام.

***نظام الصور المعتمة (Dark Field Imaging):** وهو عبارة عن تصوير العينة عن طريق الأشعة المنحرفة. ففي حالة المادة متعددة البلورات، تمثل كل دائرة بعد سطح معين (Inter Planar Spacing) أو (D-Spacing)، لذا فإنه يتم اختيار أي أشعة منحرفة يراد دراستها من نظام الانحراف (Diffraction Mode). وحجز بقية الأشعة عن طريق ما يسمى بموانع دائرية، فتبدو البلورة في هذه الحالة بيضاء ومشعة وما سواها مظلم.

الجدير بالذكر أن هذا النظام يعد من الطرق الجيدة للتمييز بين مادتين مختلفتين، إذا كان هناك تباين واضح في المسافة بين



● **شكل (٣)صور بالمجهر الإلكتروني النفاذ يوضح مدى التبلور (أحادية البلورة، متعدد البلورات، غير متبلور)**



● شكل (٤) تصوير عالي الدقة لأسلاك نانوية نانومتر من كربيد البورن.

ألواح البلورة، ومعرفة حجم البلورات.

*** نظام التصوير عالي الدقة (High Resolution imaging- HRTEM):** ويتم فيه تكوين صور للعينات على مستوى الذرات، أي أن قوة تكبيره تصل إلى نصف مليون مرة فأكثر، شكل (٤). حيث تتكون الصورة من كلا الشعاعين النافذ والمنحرف، ولذا يجب أن يكون هذا الجهاز على درجة عالية من الموازنة (Alignment)، كما يجب أن تكون نسبة الاهتزاز أو الضوضاء أقل ما يمكن.

تعطي الصور والمعلومات الناتجة من هذا النظام صورة مباشرة لترتيب الذرات والعيوب الموجودة فيها، وكذلك الحدود بين البلورات، أو بين الطبقات الرقيقة المكونة لكل بلورة. ومن أجل الحصول على معلومات كمية فهناك بعض البرامج تساعد على عمل معالجات رياضية مختلفة.

*** نظام التحليل الكيميائي:** وفيه تزود معظم المجاهر الإلكترونية النفاذة الحديثة بأنظمة للتحليل، منها:

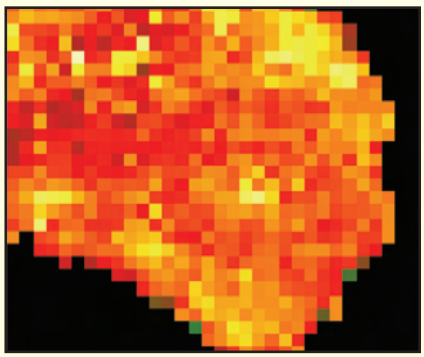
١- نظام التحليل الطيفي للطاقة المتفرقة (Energy Dispersive Spectroscopy-EDS): ويتم عن طريقه معرفة المركبات والعناصر الكيميائية، وذلك بتحليل الأشعة السينية الناتجة عن تفاعل الإلكترونات مع حجم معين من مادة العينة.

٢- نظام التحليل الطيفي لطاقة الإلكترون المفقودة (Electron Energy Loss Spectroscopy-EELS): ويتم عن طريقه معرفة المركبات والعناصر الكيميائية، وذلك بقياس مقدار الطاقة الضائعة نتيجة لمرور حزمة الإلكترونات في مساحة معينة.

الجدير بالذكر أن أجهزة التحليل الكيميائي وخصوصاً: نظام التحليل الطيفي لطاقة الإلكترون المفقودة تجاوزت مرحلة معرفة العناصر، وبات من الممكن الحصول من خلالها على معلومات عن بعض العناصر الانتقالية مثل عنصر الحديد Fe (Fe^{2+} or Fe^{3+})، شكل(٥).

ومع أن جميع هذه الأنظمة تتميز بدقتها العالية في إنشاء خريطة توزيع العناصر إلا أن لكل منها مميزاته وقدراته الخاصة.

*** أنظمة أخرى:** ومنها نظام خطوط كيكوش (Kikuchi Lines)، والأشعة المركزة



● شكل (٥) صورة للتركيب الدقيق لفلوريد الحديد مأخوذة بمجهر قياس فقد الطاقة الالكتروني.

(Convergent Beam CBED).

● تحضير العينات

يتطلب تحضير العينات في المجهر الإلكتروني النفاذ عناية ودقة فائقتين مقارنة بمجهري القوة الذرية والمجهر الإلكتروني الماسح، وعليه يختلف تحضير العينات فيه من حيث إن العينات في هذا المجهر يجب أن تكون صغيرة (أقل من ٢,٥ مليمتر) وذات شفافية للإلكترونات، حيث تبلغ السماكة أقل من ١٠٠ نانومتر. لذا فإن تحضير عينات المجهر الإلكتروني النفاذ من المواد الصلبة تحتاج إلى دقة ومهارة عاليتين من أجل الحفاظ قدر الإمكان على تركيب المادة المراد دراستها، وهذا يتطلب عدة خطوات منها:-

١- تحضير الحجم المناسب.

٢- الكشط(Polishing) حتى تصبح أقل من ١٠ ميكرون.

٣- تقليل سماكة العينة لأقل من ١٠٠ نانومتر، باستخدم طريقة جهاز سحق الأيونات (Ion Milling Machine).

في حالة دراسة المساحيق الناعمة(Powders) فإنه يتم وضع المسحوق في محلول - عادة ما يكون الكحول - ثم توضع نقطة على طبقة كربون (Lacy/Holy Carbon) مدعومة على شبكة نحاسية ذات قطر ٣ مليمتر، ثم التأكد أن حواف المسحوق شفافة للإلكترونات.

هناك طرق أخرى لتحضير عينات المجهر الإلكتروني النفاذ عن طريق ما يسمى بالكشط الإلكتروني (Electro Polish)، تتطلب أن تكون المادة موصلة، فضلاً عن أن الأخطاء الناجمة عن هذه الطريقة هي أكثر من مثيلاتها.

وفي حالة العينات الأحيائية فإنه يتم خلط العينة مع مادة لزجة تتصلب عند درجة حرارة

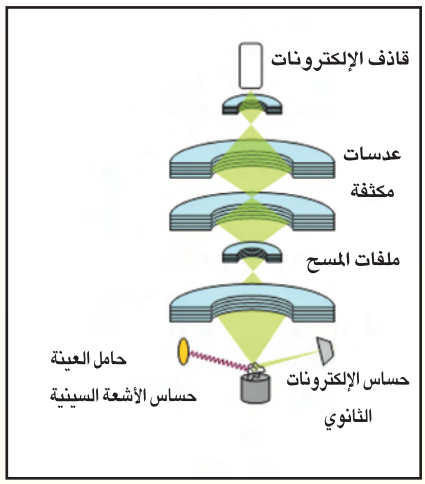
الغرفة بعد فترة معينة (٨–٣٦ ساعة)، ثم يتم كشط عينات رقيقة منها عن طريق مايسمى بالميكرتوم (Microtome)، ثم توضع العينات على شبكة نحاسية ذات قطر ٣ ملم، ومن ثم تدخل إلى المجهر. أما المواد ضعيفة التوصيل الكهربائي أو عديمة التوصيل فإنه يتم طلاؤها بطبقة رقيقة (١٠–٥٠ أنجستروم) من الذهب أو الكربون.

● دقة الجهاز

تعتمد الدقة في المجهر الإلكتروني النفاذ على نوع مصدر الإلكترونات، هل هو حراري؟«Thermionic» أو عن طريق حقل كهربائي(Field Emission) وعلى طاقتها. ففي حالة المصدر الكهربائي(Field Emission) تصل الدقة في المجهر الإلكتروني النفاذ إلى أجزاء من الأنجستروم.

المجهر الإلكتروني الماسح

يستخدم المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning Electron Microscope-SEM) حزمة من الإلكترونات، التي تتفاعل مع السطح؛ لينتج عن ذلك عدة إشارات. تتسارع حزمة الإلكترونات في أنبوب مفرغ، وتمر من خلال عدسات الكترومغناطيسية لتكوين الصور والحصول على معلومات عن العينة. وعندما ترتطم الإلكترونات بالسطح وتتفاعل معه تنتج إشارات(Signals) معينة تعطي معلومات عن طبيعة السطح (الطبوغرافيا)، كالمركبات الموجودة والعناصر وأماكن توزيعها، شكل (٦). ويتم الحصول على المعلومات في المجهر الإلكتروني الماسح عن



● شكل (٦) الاجزاء الرئيسة للمجهر الالكتروني الماسح.

طريق عدة إشارات تتلخص في الآتي:

١– الإلكترونات الثانوية (Secondary Electrons) التي تتكون نتيجة تفاعل حزمة الإلكترونات الساقطة من السطح.

٢ – الإلكترونات المرتدة (Back Scattered Electrons).

٣ – إلكترونات أوجي (Auge Electrons)

٤– الأشعة السينية (X-ray/EDS)

٥ –الانحراف في الإلكترونات المرتدة (Electron Back Scattered Diffraction EBSO).

٦– الفوتونات الضوئية.

● أنظمة المجهر

يستخدم هذا المجهر عدداً من الأنظمة – كما في المجهر السابق– حسب الوظيفة والمهمة المراد الحصول عليها، ومن تلك الأنظمة ما يلي:

* **نظام التصوير الماسح:** ويتم من خلاله الحصول على معلومات دقيقة عن طبيعة السطح (الطبوغرافيا) عن طريق تحليل الإلكترونات الثانوية الناتجة عن ارتطام حزمة الإلكترونات الرئيسة بالسطح. ويمتاز المجهر الإلكتروني الماسح: بعمق الوضوح إذ إنه يمكن التفريق بين عينات ذات تباين في الارتفاع(Depth of Focus) يصل إلى مليمترات.

* **نظام التحليل الكيميائي**، ويمكن من خلاله الحصول على معلومات كيميائية إما عن طريق الإلكترونات المرتدة(Back Scattered Electrons)، أو عن طريق الأشعة السينية (EDS).

* **نظام الأشعة المرتدة (Back Scattered Electron):** وفيه تتناسب كثافة الإلكترونات المرتدة (Electron Intensity) تناسباً طردياً مع العدد الذري للعناصر. على سبيل المثال: عند وجود عنصر الإيتيريوم (Y) ذي العدد الذري ٣٩، وعنصر المغنيسيوم (Mg) ذي العدد الذري ١٢ فإن مركب الـ (Y) يميل إلى البياض، بينما يميل عنصر المغنيسيوم (Mg) إلى اللون الرمادي أو الأسود.

* **نظام التحليل الطيفي للطاقة المتفرقة (Energy Dispersive Spectroscop):** وفيه تستخدم الأشعة السينية الناتجة من التفاعل مع سطح العينة؛ لمعرفة أنواع وتوزيع العناصر الموجودة، ولكن تعد دقة هذا النظام أقل من نظيره في المجهر الإلكتروني النفاذ بسبب؛ حجم التفاعل مع السطح في المجهر الإلكتروني الماسح الذي يصل إلى ميكرون واحد.

* **نظام الانحراف:** ويستخدم للحصول على معلومات عن اتجاه ترتيب الذرات في المواد المتبلورة سواء كانت أحادية(Single Crystalline)، أو متعددة البلورات (Poly Crystalline)، ولذا فإنه من خلال هذا النظام يمكن الحصول على نماذج انحراف (Diffraction Patterns) تعطي معلومات عن اتجاه وترتيب الذرات، والعيوب في البلورات، وحجم ومدى ارتباط الذرات بعضها ببعض عن طريق دراسة الحدود بينها.

يتم تحليل المعلومات في هذا النظام عن طريق برامج حاسوبية متخصصة من أجل مقارنه نماذج الانحراف بأخرى مثالية، ومن

ثم رسم خريطة للسطح المدروس.

● تحضير العينة

يتم تثبيت العينة في المجهر الإلكتروني الماسح على حوامل خاصة(Stud)؛ بواسطة كربون لاصق، سواء كانت المادة مسحوق (Powder) أو صلبة. إلا أنه يجب أخذ الحذر لأن بعض المواد قد تعرقل (تؤخر) الحصول على قراءة الفراغ (Vacuum Reading)اللازمة لتشغيل الجهاز .

أيضاً في حالة الرغبة في التحليل أو دراسة العينة عن طريق التحليل الطبقي للمادة (EDS) فإنه يفضل أن يكون سطح العينة أملس نسبياً، وهناك طرق أخرى لمثل هذا التحضير يمكن الرجوع إليها في مواضع أخر.

الجدير بالذكر هنا أنه إذا كانت العينة ضعيفة التوصيل الكهربائي أو غير موصلة؛ فإن ذلك سوف يؤدي إلى تراكم الشحنة، وعرقلة الحصول على معلومات مفيدة؛ لذا فإنه يفضل العمل على استعمال إلكترونات ذات طاقة قليلة ـ من ١-٢ إلكترون فولت ـ ما لم تؤثر على المعلومات الكيميائية والدقة في المجهر.

أما إذا تعذر استعمال إلكترونات ذات طاقة قليلة فإن يمكن طلاء سطح العينة بطبقة رقيقة (١٠-٥٠ أنجستروم) من عنصر الكربون أو الذهب.

● دقة الجهاز

تعتمد الدقة في المجهر الإلكتروني الماسح على نوع مصدر الإلكترونات، هل هو حراري (Thermionic)،؟ أو عن طريق حقل كهربائي(Field Emission) وعلى طاقتها، ففي حالة المصدر الكهربائي(Field Emission): تصل الدقة في أفضل الأحيان إلى ٥ نانومتر.

مجهر القوة الذرية

يختلف مبدأ العمل في مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscope-AFM) عن مبدأ العمل في كل من المجهر الإلكتروني الماسح والمجهر الإلكتروني النفاذ، حيث إن هذا المجهر لا يستخدم الإلكترونات أو الأشعة الإلكترومغناطيسية من أجل الحصول على معلومات أو تكوين صورة، بل يستخدم أشعة الليزر. لذا: فإنه يعتمد على طريقة ميكانيكية من أجل دراسة طبيعة سطح العينة بالأبعاد الثلاثة، ويتم ذلك بتحريك رأس إبري مصنوع من مادة التنجستون(W) ومثبت على ذراع ميكانيكي مرن، شكل (٧).

يجب أن يتراوح قطر الرأس المدبب ما بين ٢-٢٠ نانومتر للحصول على معلومات دقيقة، ولذلك: فهو يحتاج إلى طرق تصنيع دقيقة. ومن أجل تكوين صورة أو دراسة سطح ما: فإنه يجب تقريب الرأس المدبب من السطح، ثم تحريك الإبرة على السطح بحيث تبقى القوة على الإبرة ثابتة، ومن ثم يتم معرفة إذا كان هناك انحراف في أشعة الليزر.

● الأنظمة في مجهر القوة الذرية

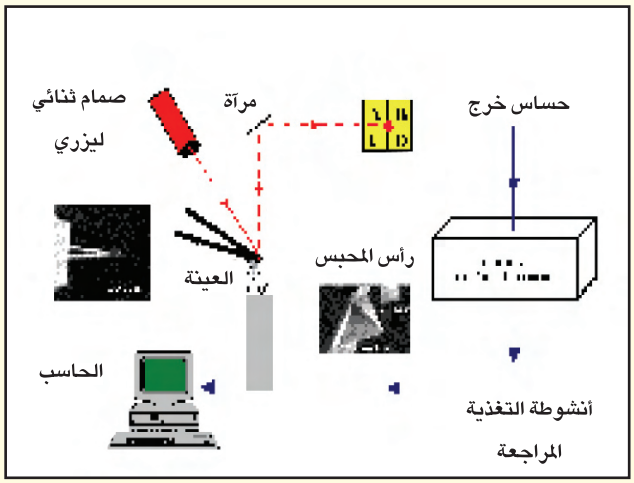
يقوم مجهر القوة الذرية بعملية مسح للسطح عن طريق الإبر المصنوعة من التنجستون؛ من أجل تكوين صور طبوغرافية ثلاثية الأبعاد، وإعطاء معلومات محددة عن التركيب (Phases). ومع أن مجهر القوة الذرية يمتاز بدقة عالية تصل إلى نصف أنجستروم في قياس الارتفاع، إلا أنه يعجز عن دراسة السطوح ذات الخشونة الكبيرة (ملمترات) كما هو الحال في المجهر الإلكتروني الماسح.

وفي أفضل الأحوال فإن مجهر القوة الذرية يعطي معلومات عن السطوح التي تكون خشونتها أقل من ١٠ ميكرون، ومن عيوبه صعوبة دراسة الأشكال ذات الزوايا المنفرجة والأشكال المعقدة. لذا فقد ينصح بأن يستخدم مجهر القوة الذرية من أجل دراسة السطوح الملساء، وهذا لا يمنع أن تدرس أي مواد أخرى إذا تم تلميعها (Polish) لتصبح في مدى قدرة هذا الجهاز.

لا يمكن معرفة العناصر وأماكن وجودها وتوزيعها عن طريق مجهر القوة الذرية كما هو الحال في المجهر الإلكتروني النفاذ، والمجهر الإلكتروني الماسح، إلا أنه يستطيع التفريق بين المركبات عن طريق خصائصها الفيزيائية مثل الاحتكاك، والالتصاق (Adhesion)، والخصائص المغناطيسية والإلكتروستاتيكية، والتوزيع الحراري، والمقاومة، والتوصيلية. لذا يجب أن تكون هناك معرفة سابقة عن تلك المركبات من أجل التفريق بينها.

● تحضير العينة

يمتاز مجهر القوة الذرية بأنه لا يحتاج إلى تحضير العينات، وإنما توضع مباشرة تحت الجهاز، أما بالنسبة لطبيعة المواد الممكن دراستها في مجهر القوة الذرية: فإنها تشمل الفلزات، والمركبات، المواد الأحيائية، والمواد البلاستكية، وتكون تحت ظروف الضغط الجوي أو غيره وأيضاً بوجود سائل أو غاز كوسط. لذا فإن الوقت اللازم للحصول على معلومات مفيدة يعتمد



● شكل (٧) رسم تخطيطي يوضح الأجزاء الرئيسة لمجهر القوة الذرية .

على حجم العينة المراد دراستها. حيث يمكن ذلك في غضون ١-٢ ساعة للحصول على معلومات مفيدة.

● **دقة الجهاز**

تعتمد الدقة في مجهر القوة الذرية على مدى دقة الإبرة، إلا أنه يمكن - في معظم الأحوال - الحصول على دقة تصل إلى ١/٢ أنجستروم.

تأثر المجاهر بالعوامل البيئية

يمكن مقارنة المجاهر الثلاثة من حيث تأثرها بالعوامل البيئية؛ ومدى قدرة كل جهاز على دراسة الخصائص في ظل الظروف الجوية العادية: كالضغط الجوي، وحرارة الغرفة. ولذلك فإنه من الصعب دراسة العينات في المجهر الإلكتروني النفاذ والمجهر الإلكتروني الماسح تحت الظروف الجوية العادية، وذلك للأسباب التالية:

١- يتمثل مبدأ العمل في كل من المجهر الإلكتروني النفاذ والمجهر الإلكتروني الماسح في تسارع الإلكترونات في أنبوب مفرغ تصل قراءة الفراغ فيه إلى ($١٠^{-٧}$ تور) وذلك من أجل الحصول على معلومات.

٢- من الممكن أن يؤدي تفاعل الإلكترونات مع السطح إلى: ارتفاع موضعي في درجة الحرارة، وذلك بحسب طبيعة المادة وخصائصها الحرارية، فمع أنه يمكن استخدام أصابع وأسلاك نحاسية مغمورة في نيتروجين سائل في المجهر الإلكتروني النفاذ؛ من أجل خفض حرارة العينة؛ لتجنب التصاق الشوائب بها(Avoid Contamination) إلا أنه لا يمكن التحكم بحرارة العينة بدقة عالية.

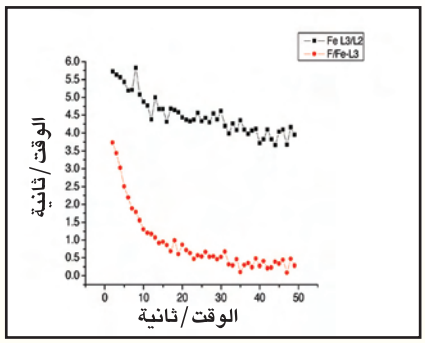
٣- في حالة دراسة مواد ضعيفة التوصيل الكهربائي غير الموصلة: فإن من أفضل الحلول أن يتم طلاء السطح بمادة الكربون أو الذهب (أقل من ٥٠ انجستروم)؛ للتخلص من تراكم الشحنات، وهذا يؤدي بدوره إلى طمس بعض الظواهر على السطح وعدم الحصول على معلومات كيميائية دقيقة، مما يؤدي إلى صعوبة دراسة و تحليل المادة. وقد تستخدم طرق أخرى في المجهر الإلكتروني مثل تقليل طاقة الإلكترونات إلى ١-٢ إلكترون فولت، إلا أن هذا يؤدي أيضاً إلى تقليل الدقة (Resolution)، وطمس بعض المعلومات.

تأثير المجاهر على العينة

يجب عدم إغفال الآثار التي تسببها المجاهر على العينات، لأنه في كثير من الأحيان قد تؤدي إلى تلف المادة وإعطاء معلومات خاطئة إذا لم تستخدم بالطرق الصحيحة. وقد يكون مجهر القوة الذرية أخف هذه الأجهزة تأثيراً على المادة المراد دراستها، إلا في حالات التصاق الإبرة بالسطح إذا كانت العينة لاصقة.

أما في حالة المجهر الإلكتروني النفاذ والمجهر الإلكتروني الماسح: فإن مدى ومقدار إتلاف المادة عن طريق الإشعاع (Radiation Damage) يعتمد على عدة عوامل، منها: طاقة الإلكترونات، ومدى تركيزها، وطبيعة العينة المراد دراستها، ومساحة المنطقة المعرضة للإلكترونات. لذا فإن مقدار التلف في المجهر الإلكتروني الماسح أقل خطورة من المجهر الإلكتروني النفاذ بسبب قلة طاقة الإلكترون نسبياً (أقل من ٣٠ كيلو فولت).

أما بالنسبة للمجهر الإلكتروني النفاذ فإنه نظراً لطاقة الإلكترونات العالية (١٠٠-٤٠٠ كيلو فولت) فإن فرص تلف المادة وتكسير الروابط بها تكون عالية. على سبيل المثال: فإن تعرض مادة فلورات الحديد(FeF_3) المستخدمة كقطب موجب في البطاريات القابلة للشحن ذات طاقة



● شكل (٨) رسم توضحي يبين العلاقة بين الوقت والكمية لكل من الحديد والفلور.

٢٠٠ كيلو فولت في المجهر الإلكتروني النفاذ وذات قطر ١ نانومتر، سوف يؤدي إلى تحللها في وقت يصل إلى ٣٥ ثانية، وتبقى مادة الحديد لوحدها كما هو موضح في الشكل (٨).

المصادر:

Transmission Electron Microscopy by David B. Williams and C. Barry Carter, plenum press, New York &London, 1996

SEM and AFM: complementary techniques for High Resolution Surface Investigations, by Phil Russell, Dale Batchelor and John T. Thornton, VEECO publications

Jafar F. Al-Sharab, James Bentley, Fredric Cosandey and Glenn Amatucci, Studying of the lithiation process in carbon iron fluorides nanocomposites using high resolution electron energy loss spectroscopy compositional imaging. Advanced Materials, (to be published)

Varun Gupta, Jafar F. Al-Sharab and Manish Chouwala, ?Microscopy study of Boron Carbide nanotubes?. Microscopy and Micro Analysis, (to be published)