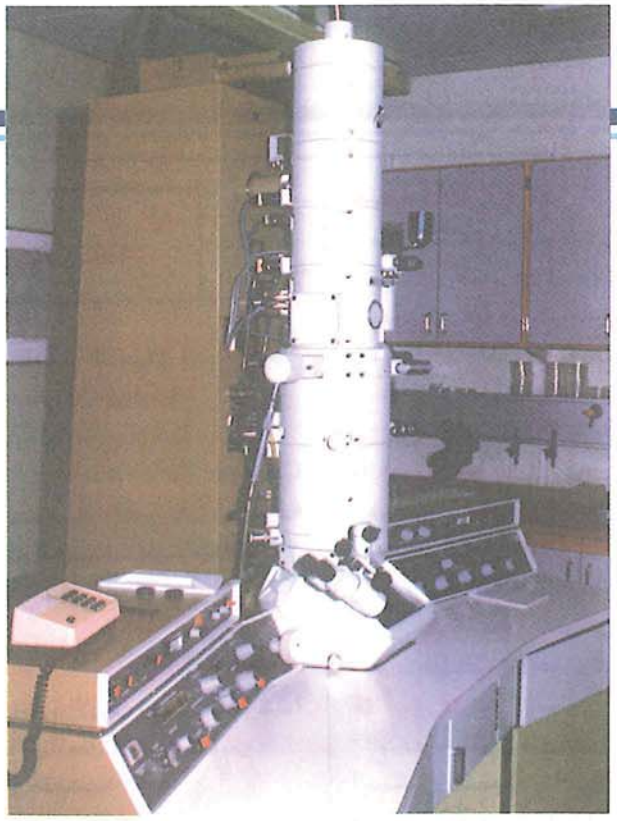
مجهر النفاذ الإلكتروني



إعداد : د . عبد الله بن إبراهيم المرشد

أحدثت المجاهر الإلكترونية نقلة علمية هائلة تمثلت في التطورات المتوالية التي شهدتها كثير من التخصصات العلمية في علوم الأحياء والكيمياء والفيزياء (خاصة علوم المواد) . ورغم ذلك كان التطور في مجال مجاهر النفاذ الالكترونية متأخراً بعض الشيء بسبب حاجتها - آنذاك - إلى تقنيات تتعلق برفع قدرة شعاع الإلكترونات للنفاذ من خلال الطبقات السميكة من العينة .

وقد أدت التطورات الحديثة في المجاهر الإلكترونية إلى التغلب على المشاكل المشار إليها وظهور مجهر النفاذ الالكتروني (Transmission Electron Microscope) الذي يمتاز عن المجاهر الالكترونية الأخرى بما يلي :

١ ــ صغر حجم العينة ورقة سماكتها مع احتفاظها بمظهرها العام من التلف أو التشويه .

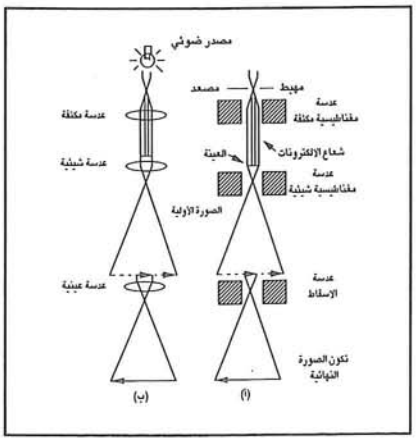
٢ ــ استخدامه لطاقة الكترونات عالية تسمح باختراق شرائح المواد الرقيقة .

مكونات المجهر

لا تختلف المكونات الرئيسة لمجهر النفاذ الالكتروني عن مجهر المسح الالكتروني إلا في اختلاف ترتيب مواقع العدسات بالنسبة لموقع العينة . ففي كلا المجهرين يوجد مدفع الكترونات وعدسات مغناطيسية (مكثفة وشيئية) .أما الإختلاف فيتمثل فيما يلي :

١ ــ تمركز العينة في حالة مجهر النفاذ الإلكتروني بين العدسة المكثفة والعدسة الشيئية ، وفي هذه الحالة فان مجهر النفاذ الالكتروني أقرب شبها لبعض المجاهر الضوئية ، شكل (١) .

٢ ــ وجود عدسة مغناطيسية أخرى في مجهر النفاذ الالكتروني يطلق عليها عدسة إسقاط تشبه في عملها العدسة العينية في المجاهر الضوئية .



● شكل (١)

٣ ـ عدم وجود ملفات مسح في مجهر النفاذ الالكتروني ولكن يستعاض عنها بتوجيه شعاع الكترونات عالية النفاذية تعمل على اختراق العينة .

تحضير العينة

قبل بدء عمل الجهاز يتم تحضير العينة المراد فحصها . وتختلف طريقة تحضير العينة لمجهر النفاذ الالكتروني عن طريقة تحضيرها لمجهر المسح الالكتروني وذلك كما يلي :

* **مجهر المسح الالكتروني :** وفيه يتم تقطيع العينة بأحجام تناسب حوامل العينات ومواصفات قاعدة الحوامل مع الأخذ بعين الإعتبار حركة قاعدة حمل العينات في الأبعاد المتاحة داخل الغرفة المخصصة للعينة ، ويشترط أن تكون العينة جافة ونظيفة من العوالق أو الأتربة ، كما أنه يجب في حالة العينات ذات التوصيل الكهربائي الضعيف أو غير الموصلة إجراء عملية طلاء بطبقة رقيقة من مواد موصلة للكهرباء مثل الذهب والكربون . وفي حالة عينات المواد الحيوية مثل النبات وغيرها يجب التخلص من الماء دون التأثير على تركيبها ، ويتم ذلك بتثبيت -Fixa) tion) العينة بمواد كيميائية من أجل حفظ شكلها في ظروف التفريع داخل المجهر .

* **مجهر النفاذ الالكتروني :** وتعد عملية تحضير العينة فيه أكثر صعوبة ودقة بسبب صغر حجم العينة ورقة سماكتها وطبيعتها الهشة ، وتوضع العينة التي يتم تقطيعها بدقة شديدة حتى لا يتم تشوهها وتكون أكثر تمثيلا للعينة التي قطعت منها وذلك باستخدام قواطع سكاكين الزجاج والألماس التي تتميز بسرعتها ودقة قطعها . بعد ذلك توضع العينة داخل أغشية دعامية من الشبكات النحاسية ، وتتم عمليات تثبيتها ـ في حالة المواد الحيوية ــ باستخدام مواد لها نفاذية لايقاف التفاعلات الكيميائية الحيوية شريطة أن يتوافق الضغط الأسموزي للعينة مع الضغط الأسموزي للمادة المثبتة حتى

تحتفظ العينة بشكلها وتركيبها .

آلية عمل المجهر

لا تختلف آلية عمل مجهر النفاذ الالكتروني كثيراً عن آلية عمل مجهر المسح الإلكتروني، فهي تبدأ بعد تحضير العينة بتوليد شعاع الإلكترونات ومروره من خلال العدسة المكثفة وأخيراً تنتهي بتكوين الصورة النهائية ، ويمكن تفصيل ذلك فيما يلي :

● تسليط الالكترونات

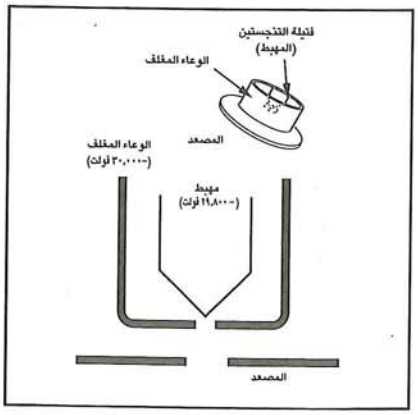
يُسلط على العينة شعاع من الإلكترونات عالية الطاقة (١٠٠ كيلوفولت) ، صادر من مدفع الالكترونات ، شكل (٢) ، وذلك لاختراق شريحة العينة . وتختلف مدافع الالكترونات باختلاف نوع الفتيلة التي تصدر عنها الإلكترونات (المهبط والمصعد) حيث تتفاوت كل فتيلة عن غيرها باختلاف درجة البريق (Brightness) ومدة الخدمة والظروف المطلوبة لتشغيلها . ويوضح الجدول (١) مقارنة بين أنواع مختلفة من الفتائل المستخدمة في المجاهر الالكترونية بوجه عام .

● استقبال نواتج التفاعل

يتم استقبال نواتج تفاعل الالكترونات مع العينة باستخدام كواشف حساسة يعتمد نوعها على نواتج التفاعل المطلوب قياسها .

● معالجة الإشارات

يتم معالجة الإشارات المتكونة من تفاعل الالكترونات مع العينة باستخدام أجهزة الكترونية تقوم بعمليات التكبير وإعادة تشكيل الإشارات حتى يتم الحصول على



● شكل (٢)

وجه المقارنة	فتيلة دبوس التنجستن (W)	فتيلة لاب ـ٦ (LaB6)	فتيلة الانبعاث الحقلي (Field Emission)
البريق (أمبير/سم٢/ستيردين)	$٤_{١٠\times٥}$	$٤_{١٠\times٢,٥}$	$٧_{١٠\times١}$
مقاس المصدر الالكتروني (ميكروميتر)	٢٠	١٠	٧
مدة الخدمة (ساعة)	٧٥	٤٠٠	٨٠٠٠
درجة التفريغ (باسكال)	$٤-_{١٠}$	$٢-_{١٠}$	$٨-_{١٠}$
درجة حرارة التشغيل (كالفين)	٢٨٠٠	١٨٠٠	٣٠٠
أهم المزايا	الإستقرار ، التيار العالي	قدرة تبيين عالية عند ارتفاع التيار	قدرة تبيين عالية

● جدول (١) مقارنة بين أنواع من الفتائل المستخدمة في المجاهر الالكترونية .

الصورة النهائية .

مزايا مجهر النفاذ الالكتروني

من مزايا مجهر النفاذ الإلكتروني على مجهر المسح الالكتروني والمجاهر الضوئية ، جدول (٢) ، مايلي :

١ ـ مقدرة فائقة على توضيح تفاصيل تركيب الجزء المكبر من العينة الرقيقة أي مايعرف بقدرة التمييز (Resolving Power) حيث تتراوح قدرة التمييز لمجهر النفاذ الالكتروني بين حوالي ٠,١٤ نانوميتر إلى ٢ نانوميتر ($١٠^{-٩}$ م) ، جدول (٢) ، أي مليون ضعف قدرة تمييز العينة المجردة التي تبلغ حوالى ٢,٠مم($١٠^{-٣}$ م) على بعد ٣٠سم .

٢ ـ مقدرة عالية في تكبير الأشياء تصل إلى مليون مرة .

وجه المقارنة	مجهر المسح الإلكتروني (SEM)	مجهر النفاذ الإلكتروني (TEM)	المجهر الضوئي
قدرة التمييز (نانوميتر)	٠,٣	٠,١٤ ـ ٢	٥٠٠
أعلى تكبير	٣٠٠٠٠٠	٨٠٠٠٠٠	٥٠٠
عمق حقل الرؤية (ميكروميتر)	٥٠	سمك العينة	١
عرض حقل الرؤية (ميكروميتر)	٥٠	٠,٣	٠,٥
الجهد الكهربائي (كيلو فولت)	٣٠	١٠٠	جهد المصدر الضوئي
شكل العينة	ليس لها شكل محدد	قطاع رقيق	ليس لها شكل محدد
تفاعل الشعاع مع العينة	تقاس الالكترونات المرتدة من على سطح العينة	تقاس الالكترونات النافذة من خلال العينة	الضوء النافذ أو المنعكس من العينة

● جدول (٢) مقارنة بين المجاهر الإلكترونية والضوئية .