جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة القادسية

كلية العلوم / قسم الكيمياء

بحث حول

المجهر الإلكتروني النافذ

Transmission Electron Microscope

بحث مقدم الى مجلس كلية العلوم /قسم علوم الكيمياء /جامعة القادسية وهو جزء

من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علوم الكيمياء

مقدم من قبل الطالبة

غفران قاسم علي

بأشرف الأستاذ

أ.م.د. أوراس عدنان حاتم

1440هـ **2019م**

(وَمَا أَرْسَلْنَا مِنْ قَبْلِكَ إِلَّا رِجَالًا نُوحِي إِلَيْهِمْ فَاسْأَلُوا أَهْلَ الذِّكْرِ إِنْ كُنْتُمْ لَا تَعْلَمُونَ)

سوره النحل

الآية 43

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل إعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون)

صدق الله العظيم

إلهي لايطيب الليل إلا بشكرك ولايطيب النهار إلى بطاعتك .. ولاتطيب اللحظات إلا بذكرك .. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك .. ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك

الله جل جلاله

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة ونور العالمين ..

سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار .. إلى من علمني العطاء بدون انتظار .. إلى من أحمل أسمه بكل افتخار .. أرجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوم أهتدي بها اليوم وفي الغد وإلى الأبد ..

والدي العزيز

إلى ملاكي في الحياة .. إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والتفاني .. إلى بسمة الحياة وسر الوجود

إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبايب

أمي الحبيبة

إلى من بها أكبر وعليه أعتمد .. إلى شمعة متقدة تنير ظلمة حياتي ..

إلى من بوجودها أكتسب قوة ومحبة لا حدود لها ..

إلى من عرفت معها معنى الحياة

شكر وتقدير

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية

من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام

الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث

الأمة من جديد .وقبل أن نمضي تقدم أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة

إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة ...

إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة ...

إلى جميع أساتذتنا الأفاضل.....

"كن عالما .. فإن لم تستطع فكن متعلما ، فإن لم تستطع فأحب العلماء ،فإن لم تستطع فلا تبغضهم"

وأخص بالتقدير والشكر:

الدكتورة أوراس عدنان حاتم

الذي نقول له بشراك قول رسول الله صلى الله عليه وسلم:

"إن الحوت في البحر ، والطير في السماء ، ليصلون على معلم الناس الخير"

كذلك نشكر كل من ساعد على إتمام هذا البحث وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة وزودنا بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا البحثة إلى من زرعوا التفاؤل في دربنا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات والأفكار والمعلومات، ربما دون يشعروا بدورهم بذلك فلهم منا كل الشكر، أما الشكر الذي من النوع الخاص فنحن نتوجه بالشكر أيضا إلى كل من لم يقف إلى جانبنا ، ومن وقف في طرقنا وعرقل مسيرة بحثنا، وزرع الشوك في طريق بحثنا فلولا وجودهم لما أحسسنا بمتعة البحث ، ولا حلاوة المنافسة الإيجابية، ولولاهم لما وصلنا إلى ما وصلنا إليه فلهم منا كل الشكر.....

المحتويات

م	الموضوع	رقم الصفحة
.1	مقدمة	2
.2	Electron Microscope المجهر الالكتروني	3
.2.1	المجهر الالكتروني النافذ	3-5
.2.1.1	نبذة تاريخية عن جهاز المجهر الالكتروني النافذ TEM	6-7
.2.1.2	تطور جهاز الميكروسكوب الالكتروني النافذ TEM	8
.2.1.3	الأجزاء الأساسية في الميكروسكوب الالكتروني النافذ TEM	9-16
.2.1.4	ما لا يمكن القيام به المجهر الالكتروني النافذ TME	17
.2.1.5	نظرية توليد صورة المجهر الالكتروني النافذ TME	18
.2.1.6	طول موجة الالكترون	18
.2.1.7	أساسيات تشكيل الصورة	19-21
.2.1.8	تجهيز العينة Sample preparation	21
.2.1.9	عيوب جهاز المجهر الالكتروني النافذ TME	22
.2.1.10	التصوير بالمجهر الالكتروني النافذ TME	23
.2.1.11	تطبيقات المجهر الالكتروني النافذ TME	24-26
.3	الحفاظ على المجهر	27
.4	المصادر.	28-30

1. المقدمة

يعتبر المجهر الإلكتروني النافذ Transmission Electron Microscopy، أو TEM واحدًا من أقوى طرق التوصيف في علوم المواد. يستخدم المجهر الالكتروني النافذ طاقة الإلكترونات في تكوين صور بها معلومات عن التركيب الكيميائي، والتركيب البلوري، والشكل الداخلي للعينات. ويعد أقوى المجاهر الموجودة حاليًا، حيث تصل أقصى قوة تكبير له إلى واحد نانومتر. يقدم المجهر صور ثنائية الأبعاد عالية الدقة، مما يسمح باستخدامه في التطبيقات التعليمية، والعلمية، والصناعية.صمم إرنست روسكا (Ernst Ruska) أول مجهر إلكتروني بمساعدة ماكس نولز (Max Knolls) عام 1931م. وبعد تحسينات كبيرة في جودة تكبير المجهر، استطاع روسكا أن ينضم إلى شركة سيمنز الألمانية في أواخر الثلاثينيات كمهندس كهرباء، وهناك استطاع أن يساعدهم في تصنيع مجهره على نطاق أوسع.

2. Electron Microscope المجهر الالكتروني

تستخدم الإلكترونات بدلاً من الأشعة الضوئية في هذا النوع من المجاهر حيث أن الإلكترونات ذات طول موجي قصير فتعطي هذه المجاهر قوة تكبيرية عالية تصل لأكثر من نصف مليون مرة أي حوالي 1000 ضعف عن المجاهر العادية. وفي الميكروسكوب الإلكتروني تمر الإلكترونات من خلال سلسلة من المجالات المغناطيسية تشبه في عملها نظام العدسات في المجهر الضوئي وبذلك فالإلكترونات التي تنعكس عن العينة والتي تنفذ من خلالها تبعاً لكثافة التراكيب في العينة المفحوصة يمكن استقبالها على لوحات حساسة أو مشاهدتها على شاشات خاصة مفسفرة تسمح برؤية الصورة لامعة وهي على عدة أنواع منها:

- **المجهر الالكتروني النافذ Transmission Electron microscope(TEM)**
  يستخدم لدراسة المحتويات الداخلية للخلية.
- **المجهر الالكتروني الماسح Scanning electron microscope(SEM)**

  يستخدم لدراسة السطح الخارجي للخلية.

- **المجهر الالكتروني النافذ- الماسح Scanning -Transmission Electron microscope(STEM)** الذي يجمع بين النوعين اعلاه .

2.1. المجهر الالكتروني النافذ Transmission Electron microscope(TEM)

في حالة المجهر الالكتروني النافذ تتعرض العينة كلياً للإشعاع الإلكتروني الذي ينفذ أو يمر من العينة ليكوّن الصورة على شاشة العرض ويأتي التباين في الصورة من الإختلافات في الكثافة الإلكترونية للعينة ، أو من كمية الإلكترونات التي تمر من خلال العينة . ومما هو جدير بالذكر أن الفحص بالمجهر الإلكتروني يحتاج إلى معاملات خاصة سواءاً في تحضير العينة أو في إعداد المجهر للفحص . ان استعمال سيل او تيار من الالكترونات والتي لها طول موجة قصير جداً تمكن من الحصول على قدرة تمييز عالية جداً وبهذا فان المجهر الالكتروني له قدرة او قوة تمييز عالية تصل الى حوالي 10-20 انكستروم مع قوة تكبير عالية تصل الى 50 ألف او أكثر. يستخدم تيار كهربائي بقوة آلاف الفولتات عوضاً عن الضوء المستخدم في المجهر الضوئي ويكون طول موجة شعاع الالكترونات

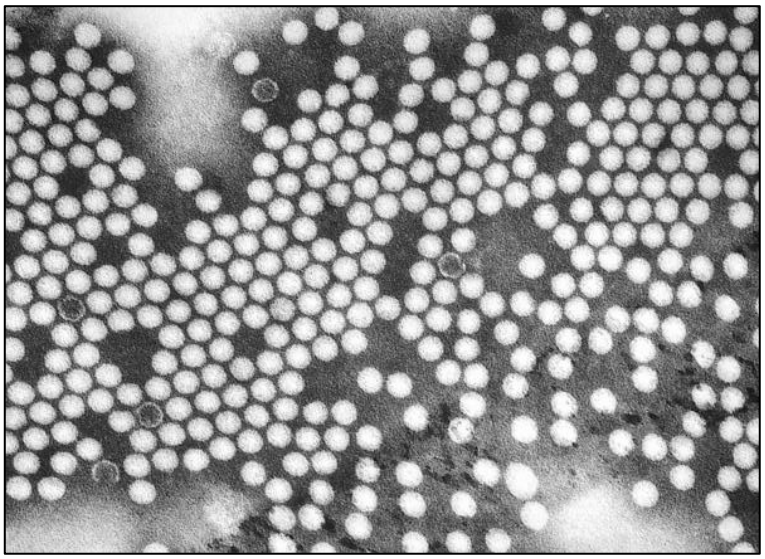
قصيراً جداً لذلك يستطيع تحطيم أي شئ يوضع مقابل هذه الالكترونات ولهذا لا تستخدم عدسات زجاجية بل تستخدم ملفات كهربائية مغناطيسية Electromagnetic fields تقوم مقام العدسات الزجاجية. ان المجاهر الالكترونية معقدة كثيراً وغالية الثمن وصعبة الاستعمال ولكن أسسها العامة تشبه في كثير من الوجوه المجهر الضوئي حيث يتكون المجهر الالكتروني من أنبوبة عمودية محكمة القفل وتنبثق الالكترونات من مصدر كهربائي قوي يعرف electron gum والذي هو عبارة عن خيط معدني مسخن لدرجة حرارة عالية في مجال مفرغ من الهواء تماماً إضافة إلى ملفات كهرومغناطيسية تعمل عمل العدسة المكثفة تدعى بعدسات المكثف الكهرومغناطيسية electromagnetic condenser lenses ثم تمر حزمة الالكترونات على العينة المراد فحصها ثم يضبط مسار الالكترونات بملف كهربائي آخر يقوم مقام العدسة الشيئية حيث تكبر الصورة ثم تضبط الالكترونات بملفات كهربائية أخرى تقوم مقام العدسة العينية وتستقبل الالكترونات الخارجة على شاشة متفلورة Fluorescent screen يمكن النظر اليها مباشرة أو باستخدام عدسات مكبرة وتوجد آلة تصوير فيها أفلام حساسة تستطيع التقاط الصورة المتكونة.

بعكس المجهر الضوئي فان قدرة التمييز العالية للمجهر الالكتروني النافذ تمكن من مشاهدة تفاصيل أكثر للخلية. لا يمكن تكبير سيل الالكترونات الا في الفراغ التام لان الالكترونات تفقد سرعتها وتتباعد اذا اصطدمت بجزيئات الأوكسجين والنتروجين المتفرقة وبقية جزيئات الهواء. يغلف الجهاز أنبوب محكم صلد قوي ويحافظ على استمرارية تفريغه من الهواء بصورة ثابتة . بالإضافة إلى ان التفريغ يحتاج إلى تبريد مائي وان التيارات الكهربائية العالية يجب أن تكون مستقرة ومتوازنة.

مع تطور أجهزة التكبير أصبح بالإمكان رؤية المواد على المستوى الذري مما فتح المجال لتكنولوجيا النانو لتتطور وتنتشر. جهاز الميكروسكوب الالكتروني النافذ والذي يعرف بالاسم Transmission electron microscopyويختصر في (TEM) هو أحد أهم أجهزة التكبير. من خلال اسمه يمكننا التنبؤ بالتقنية التي يعمل بها الميكروسكوب الالكتروني حيث ينفذ شعاع من الالكترونات من عينة رقيقة جدا، ويتفاعل معها. تتكون الصورة من تفاعل الالكترونات النافذة من العينة حيث يمكن أن تكبر الصورة وتركز على شاشة فلوريسنت أو على طبقة من فيلم فوتوجرافي، أو أن ترصد بواسطة كاميرا فيديو CCD.

يستطيع الميكروسكوب الالكتروني النافذ أن يكون صور بدقة تحليلية عالية جدا اكبر بكثير من تلك التي يمكن أن نحصل عليها من الميكروسوب الضوئي التقليدي والسبب في ذلك يعود إلى الطول الموجي القصير المصاحب للالكترونات (موجة دبرولي de Broglie). وهذا يجعلنا نستخدم هذه الأداة لرؤية تفاصيل دقيقة تصل في دقتها إلى رؤية صف من الذرات. هذه الدقة جعلت جهاز الميكروسكوب الالكتروني النافذ أداة تحليلية هامة تستخدم في العديد من المجالات العلمية في الفيزياء والبيولوجي بالإضافة إلى تطبيقاتها في أبحاث السرطان وعلم الفيروسات وفي علوم المواد materials scienceمثل بحوث أشباه الموصلات والنانوتكنولوجي.

كما يمكن استخدام أنماط تشغيل مختلفة في جهاز الميكروسكوب الالكتروني النافذ TEM للتعرف على التراكيب الكيميائية للعينة والتركيب البلوري والالكتروني أيضا. و الشكل (1) يوضح فيروس بوليو polio virus المسبب لشلل الأطفال حجمه30nm



شكل (1) فيروس بوليو polio virus

2.1.1. نبذة تاريخية عن جهاز الميكروسكوب الالكتروني النافذ TEM

أول ميكروسكوب الكتروني نافذTEMتم تركيبه فيG Farben-Werke .Iوالآن هو في متحف في مدينة ميونخ بألمانيا كما في الشكل (2)

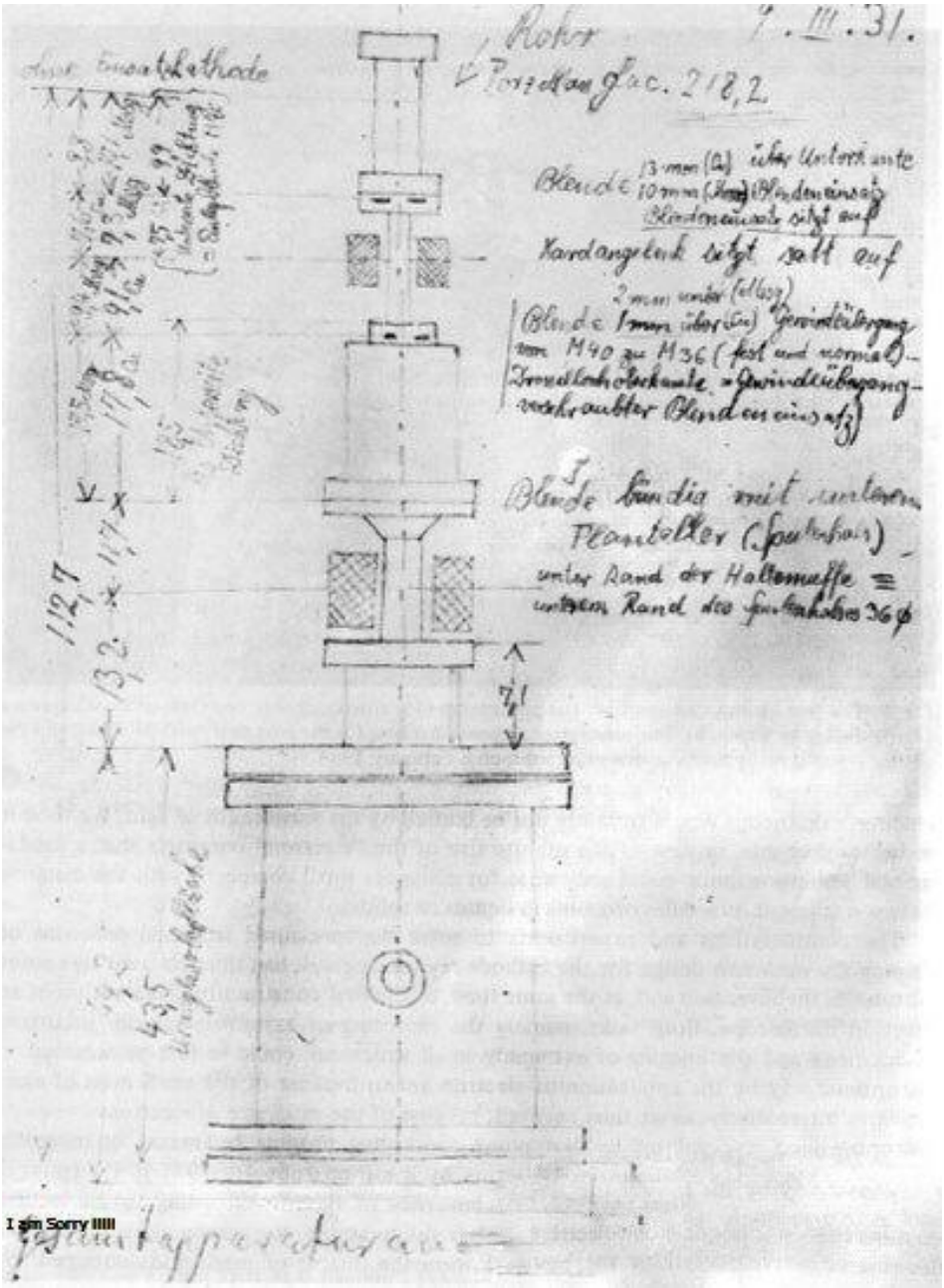
شكل (2) أول ميكروسكوب الكتروني نافذTEM

مخطط لأول ميكروسكوب الكتروني تم الحصول عليه من دفتر العالمRuskaفي العام 1931 كان قادرا على التكبير 16 مرة فقط كما في الشكل (3) افترض العالمErnst Abbeإن القدرة التحليلية لأي ميكروسكوب تعتمد على الطول الموجي للضوء المستخدم وبالتالي فان الميكروسكوبات التقليدية المعتمدة على الضوء المرئي سوف يكون لها حد أقصى للقدرة التحليلية لا يمكن أن تتجاوزه بأي حال من الأحوال ولهذا طور العالمKoehlerجهاز ميكروسكوب يعمل بالأشعة الفوق بنفسجية وبالرغم من أن ذلك زاد القدرة التحليلية إلا أن اعتماد هذا الميكروسكوب على استخدام بصريات مصنعة من الكوارتز ،لان الزجاج العادي يمتص الأشعة فوق البنفسجية، جعل سعره مرتفعا جدا. عند هذه المرحلة أصبح واضحا لدى العلماء أن الحصول على صور دقيقة بحجم أجزاء من الميكرون مستحيلا نظرا لقيود الطول الموجي للضوء المستخدم.

مع المزيد من الاكتشافات التي بدأت في العام1858بواسطة العالم Plücker الذي استطاع التحكم في أشعة الكاثود (وهي حزمة من الالكترونات ولكن لم يكن ذلك معروفا إلا بعد تجارب العالم GG

Thomson) بواسطة المجالات المغناطيسية. تمكن العالم Riecke في العام 1891 من تبئير أشعة الكاثود بواسطة المجالات المغناطيسية مما يعني انه استطاع تصميم عدسة مغناطيسية بسيطة.

في العام 1928في الجامعة التكنولوجية في برلين قام العالمMax Knoll برئاسة فريق بحثي بتطوير عدسات للتحكم في أشعة الكاثود لاستخدامها في الحصول على صور مكبرة. وبعد ثلاثة أعوام من الأبحاث والتجارب تمكن العالمMax Knollوفريقه من الحصول على أول صورة مكبرة لشبكة وضعت فوق فتحة الانود وكان هذا في العام 1931. في نفس العام تمكن العالم Reinhold Rudenberg في شركة سيمينزSiemens companyمن الحصول على براءة اختراع للعدسة الكهروستاتيكية في الميكروسكوب الالكتروني.



شكل (3) مخطط لأول ميكروسكوب الكتروني تم الحصول عليه من دفتر العالمRuskaفي العام 1931

2.1.2. تطور جهاز الميكروسكوب الالكتروني النافذ TEM

في ذلك الوقت كان السلوك المزدوج للالكترونات معروفا من خلال الفرضية التي وضعها العالم دي برولي De Broglie hypothesis وهي أن كل جسيم له سلوك موجي وبالتالي وجد أن الإلكترون يسلك سلوك موجي بالإضافة إلى سلوكه الجسيمي مثله مثل الضوء تماما وبالرغم من أن فرضية دبرولي وضعت في العام 1927 إلا أن الفريق البحثي المكلف بتطوير قدرة الميكروسكوب لم يكن يعلم بهذه الفرضية حتى العام 1932 وبمجرد أن وصلتهم تلك الفرضية والتجارب التي أكدت صحتها لاحظ العلماء انه بالإمكان استخدام الموجة المصاحبة للإلكترون في عملية التكبير في الميكروسكوبات لان هذه الموجة اصغر كثيرا من الطول الموجي للضوء المرئي (الطول الموجي المتوسط للضوء 5000 انجستروم في حين إن الطول الموجي المصاحب للإلكترون في حدود 1 انجستروم) وبالتالي يمكن تطوير أجهزة تكبر الأشياء على المستوى الذري. في العام 1933 تم الحصول على أول نجاح للحصول على صور مكبرة لعينة من ألياف القطن قبل أن تصاب العينة بالضرر نتيجة لاصطدام الالكترونات بها.

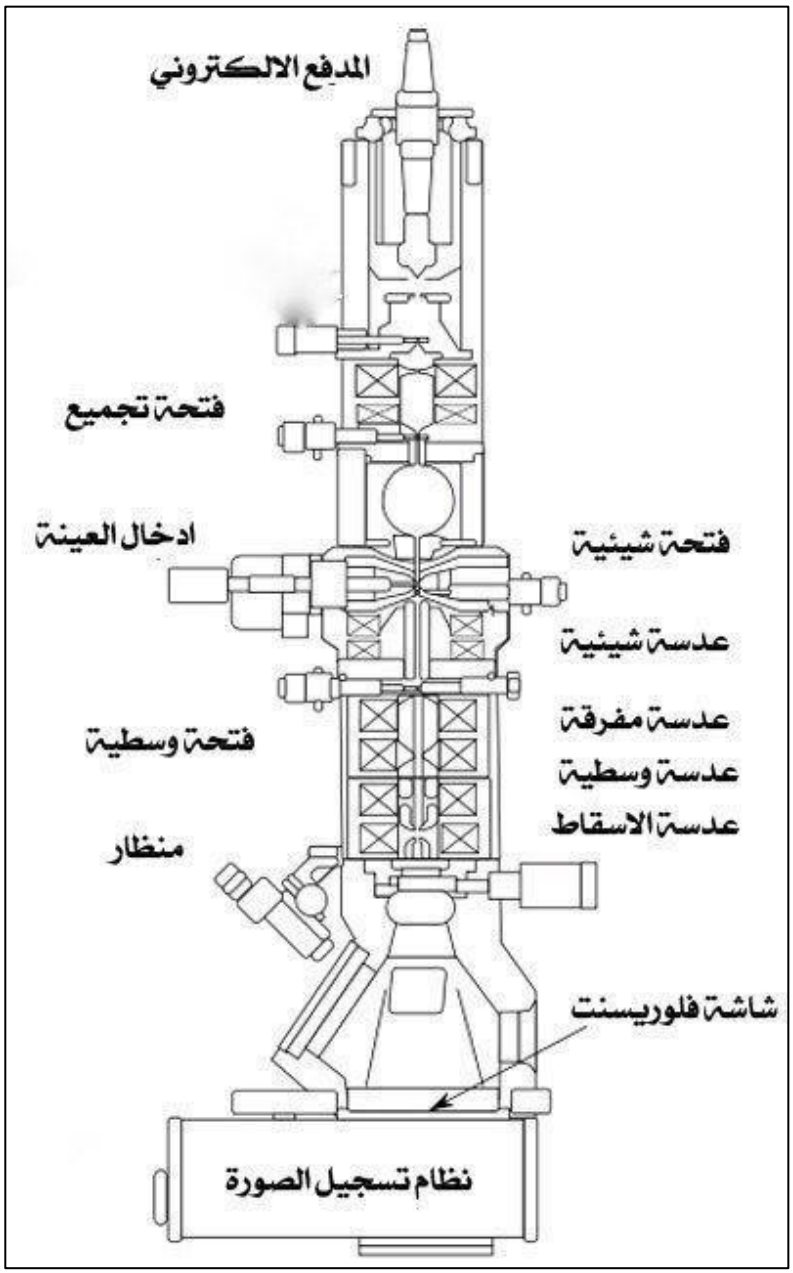
بعد هذا النجاح ازداد الاهتمام بالميكروسكوب الالكتروني من قبل العديد من المجموعات البحثية لتطويره واستمر التطوير ايضا في شركة سيمينز للحصول على صور لعينات بيولوجية وفي العام 1938 تم بناء أول جهاز TEM.

بعد الحرب العالمية الثانية استمر العالم Ruska في شركة سيمينز بتطوير الميكروسكوب الالكتروني ليحصل على تكبير وصل إلى 100,000 مرة. وللعلم فان تصميمه هذا لازال مستخدما في الاجهزة الحديثة حالياً. وقد عقدت العديد من المؤتمرات العلمية المتخصصة حول هذا الجهاز تحت اسم مؤتمر الميكروسكوب الالكتروني بدأت في العام 1942 والثاني في 1950 وبعدها في العام 1954.

بتطوير جهاز TEM تم تطوير تقنيات أخرى منها الميكروسكوب الالكتروني الماسح النافذ والذي يعرف باسم scanning transmission electron microscopy والذي يختصر بـ (STEM) وتم تطوير هذا الجهاز في السبعينات من القرن الماضي بواسطة العالم Albert Crewe في جامعة شيكاغو بعد تصميم المدفع الالكتروني الذي يعمل بالمجال الكهربي field emission gun وتحسين العدسات المغناطيسية. وهذا الجهاز استخدم لرؤية ذرات الكربون في غشاء رقيق مرسب على شريحة.

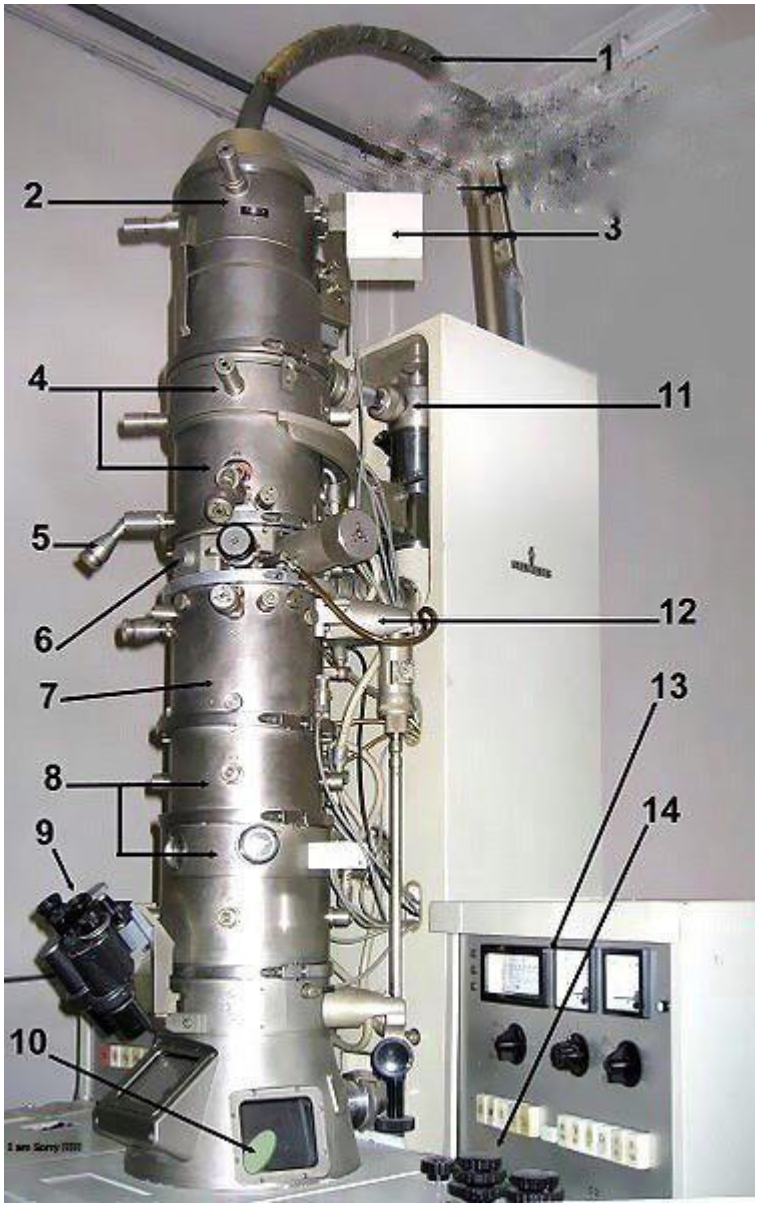
2.1.3. الأجزاء الأساسية في الميكروسكوب الالكتروني النافذ TEM

يتكون جهازTEMمن أجزاء رئيسية عديدة تشمل نظام مفرغة الهواءvacuum systemوالذي يوفر الفراغ في داخل الجهاز ليسهل على الالكترونات الوصول إلى العينة بدون أن تصطدم في الغازات داخله، وكذلك يوجد العديد من العدسات الكهرومغناطيسية، وألواح التوجيه الكهروستاتيكية، وهذه تمكن المستخدم من التحكم في الشعاع الالكتروني. كما يوجد أيضا غرفة العينة التي يمكن التحكم بموضعها في الجهاز لتحريك العينة داخل الجهاز تحت الشعاع الالكتروني. كما توجد أجهزة عرض الصورة المتكونة من الالكترونات التي نفذت من العينة. ولمزيد من التفصيل سوف نشرح هذه الأجزاء الأساسية بمزيد من التفصيل. والشكل (4) يوضح الأجزاء الأساسية في جهازTEM



شكل (4) الأجزاء الأساسية في جهازTEM

مصدر الالكترونات في أعلى الجهاز حيث تعمل العدسات (4 و7 و 8) على تركيز الشعاع الالكتروني على العينة وتنفذ من العينة على شاشة العرض (10). وأزرار التحكم بالشعاع الالكتروني على اليمين (13 و14). كما في الشكل (5)



شكل (5)

2.1.3.1. أجزاء جهاز TEM

يتكون المجهر الالكتروني TEMمن الاجزاء التالية

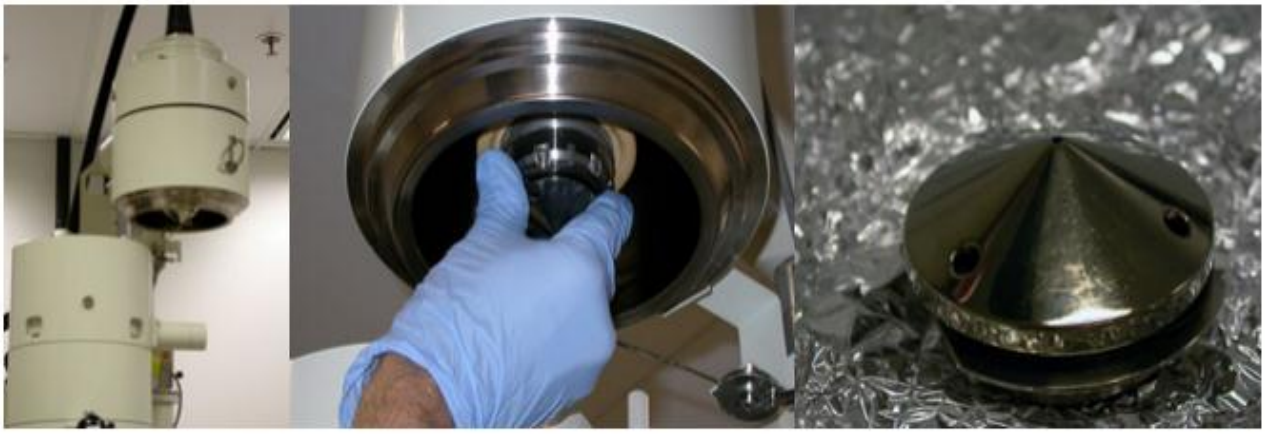
المكونات:

- مدفع الإلكترونات **Electron gun**
- عمود الإلكترون **Electron column**
- نظام العدسات الكهربائية المغناطيسية**Electro-magnetic lens system**
- كاشفات **Detectors**
- نظام تبريد الماء **Water chilling system**
- عينة / غرفة العينة **Specimen/sample chamber**
- لوحة التحكم الرئيسية والتشغيلية ضوابط **Main control panel and operational controls**
- ملتقط الصور **Image capture**

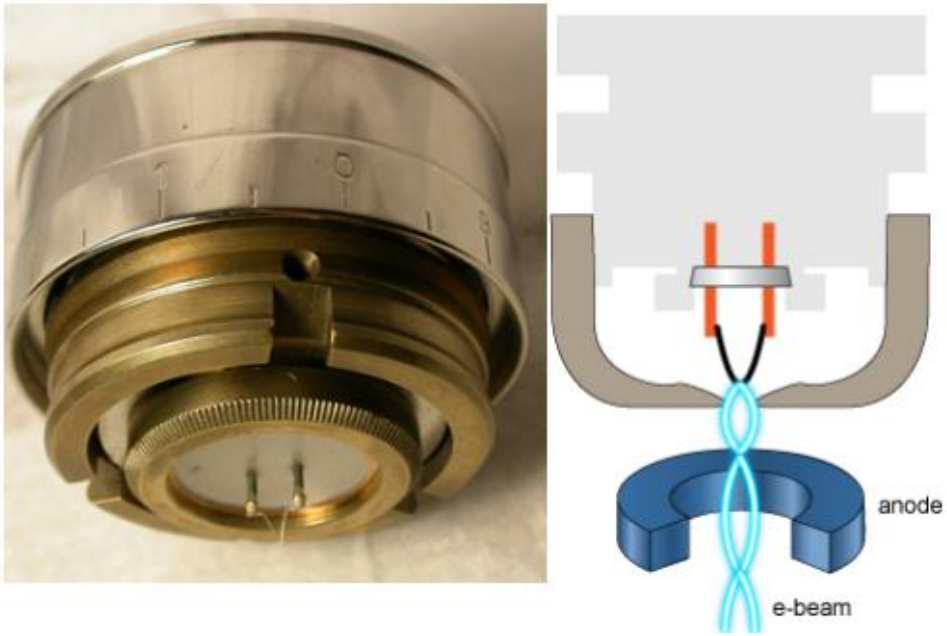
شكل (6) أجزاء جهاز TEM

1. مدفع الإلكترونات

المدفع الإلكتروني يولد شعاع الإلكترون. وعادة ما يتم وضعه في الجزء 26العلوي من العمود. في الشكل (7) يبين كيفية استبدال باعث الإلكترون. الباعث هو يقع داخل اسطوانة Wehnelt على شكل مخروط وينتقل الشعاع من الفتحة المركزية الصغيرة الموضحة في قمة مخروط.



شكل (7)

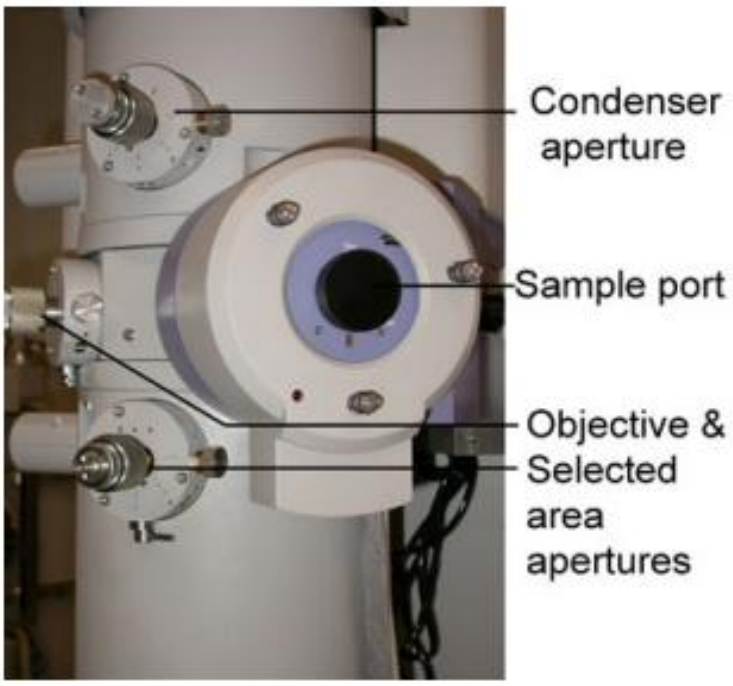


شكل (8)

المدفع الإلكتروني بعد إزالة اسطوانة Wehnelt شكل (8). حيث تضهر اسلاك التنغستن.

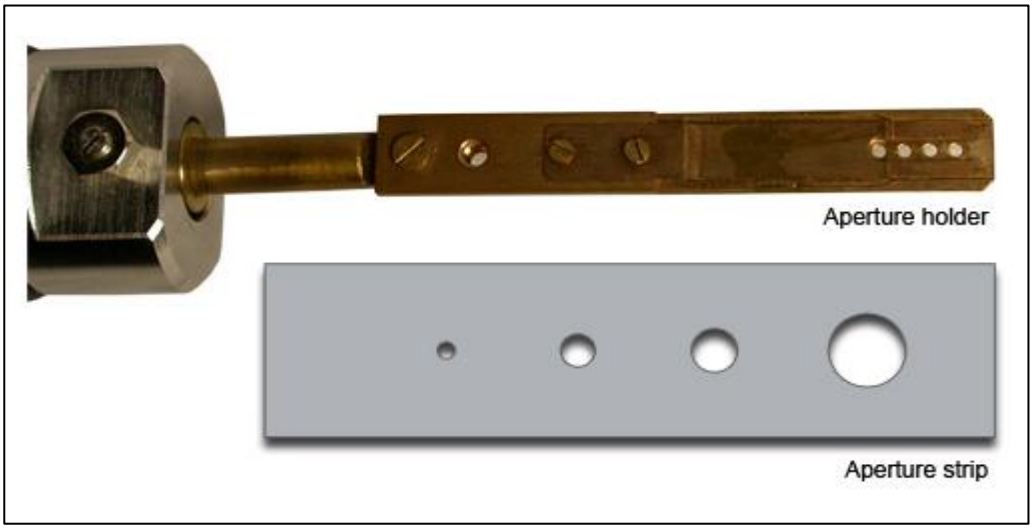
2. عمود الإلكترون

يتكون عمود الإلكترون من مجموعة المدفع الالكتروني في الأعلى ، عمود مليء بمجموعة من العدسات الكهرومغناطيسية ، Sample port و airlock ، ومجموعة من الفتحات التي يمكن نقلها داخل وخارج مسار الشعاع محتويات العمود تكون في منطقة مفرغة من الهواء Condenser aperture.



شكل (9) عمود الإلكترون

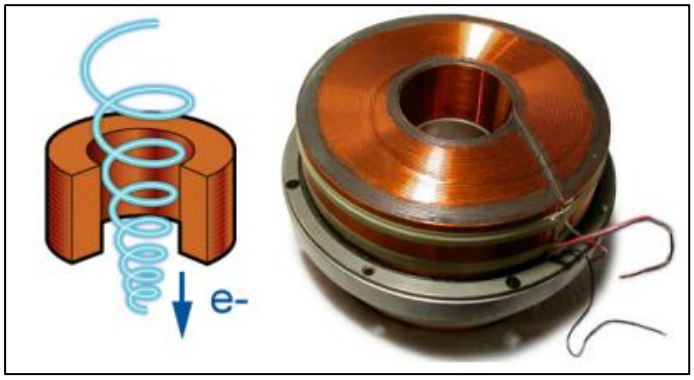
توجد الفتحات داخل شرائط الفتحات ، وتتكون عادةً من شريط الموليبدينوم الذي يحتوي على تسلسل ثقوب مختلفة الحجم ، تسمح بتعديل الشعاع بدرجات مختلفة من الدقة.



شكل (10)

3. نظام العدسة المغناطيسية

داخل العمود ، تشكل العدسات الكهرومغناطيسية شعاع الإلكترون ، الذي ينتقل في مسار حلزوني. كل عدسة تتكون من ملف نحاسي من خلاله يسري التيار . هناك ثقب في المركز الذي من خلاله ينتقل الاشعاع .



شكل (11) نظام العدسة المغناطيسية

داخل العمود يبقى مفرغ من الهواء **under vacuum** بحيث يتم تقليل كثافة الجزيئات التي يمكن أن تتداخل مع حزمة الإلكترون . لتحقيق ذلك ، يتم ربط نظام المضخات الفراغية بعمود TEM.

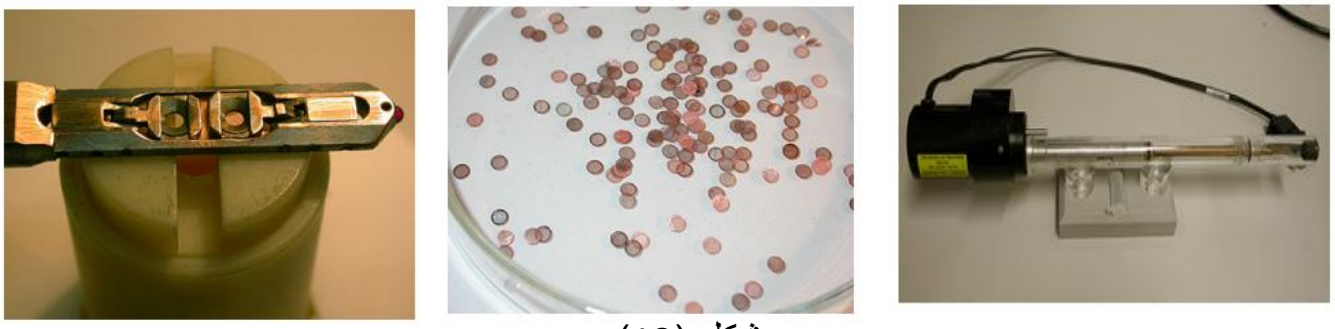
4. كاشف Detectors

أحد أكثر أجهزة الكشف شيوعًا التي يتم استخدامها على المجهر إلكتروني النافذ TEM هو مطياف لتفريق الطاقة بالأشعة السينية (EDS أو EDX) .والذي يتضمن هذا عادةً ديوارًا كبيرًا للنيتروجين السائل (للحفاظ على الكاشف باردًا) ، الذراع الذي عليه يجلس عليه الجهاز ، وكاشف الحالة الصلبة الذي يخترق العمود لذلك يقع بالقرب من العينة.

شكل (12)

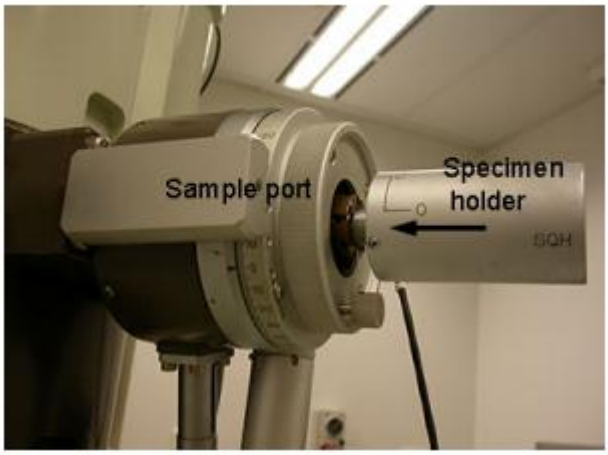
5. غرفة العينة sample chamber

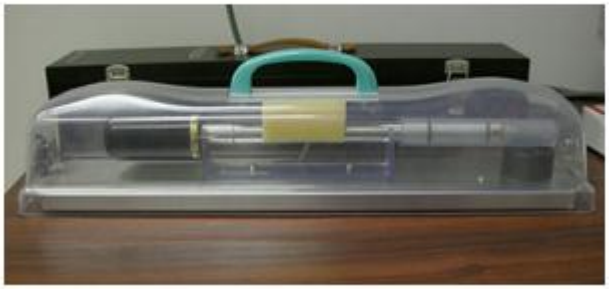
حامل العينة لديه وعاء واحد أو اثنين في النهاية. يتم تحميل العينة عبر حافة الانبوبة أو حلقة مسامير في البئر للاحتفاظ بها في مكانها بشكل آمن. لا بد من تأمين الشبكة بحيث لا تسقط من حامل العينة.



شكل (13)

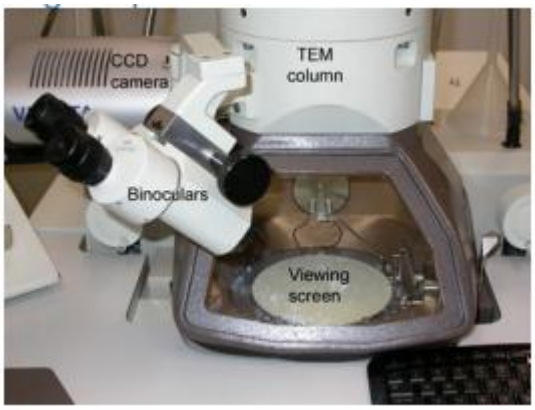
ثم يتم إدراج الحامل في العمود. خلال هذه العملية ، يتم إخلاء عينة الهواء مما قد يستغرق بضع دقائق. من المهم إبقاء الحلقة على الحامل خالية من النسالة أو الغبار وشحومها بشكل صحيح أو يمكن أن تتداخل مع مكنسة كهرباء. للحفاظ على نظافتها ، يتم تخزين الحامل في غلاف الغلاف عندما يكون خارج الجهاز. يمكن ملاحظة كابل على بعض أصحاب العينات. يتم توصيل الكبل بالعمود لتمكين الإمالة التي يتم التحكم فيها إلكترونياً للحامل وبالتالي العينة. هذا مهم للحصول على أنماط الحيود الموجهة بدقة والصور عالية الدقة.





شكل (14)

6. التقاط الصور



شكل (15)

في قاعدة العمود توجد حجرة للعرض مع منفذ نافذة وزوج منظار قابل للتعديل. الصورة هي المسقطة على الشاشة في غرفة العرض. منظار المتاحة لتركيز الصورة. الشاشة في الغرفة هي فقط لإنتاج صورة مؤقتة. لجمع صورة دائمة ، يتم إدخال كاميرا CCD في مسار شعاع. هذا يسمح للصور التي سيتم جمعها في شكل رقمي.

يمكن ضبط وقت التعرض - طول الفترة الزمنية التي يتم توجيه الشعاع بها إلى جهاز التجميع - لتتناسب مع معلمات الحزمة والتحكم في جودة الصورة المطلوبة.

2.1.4. ما لا يمكن القيام به المجهر الالكتروني النافذ TME

هناك بعض الأشياء التي لا تستطيع المجهر الالكتروني النافذ TEM القيام بها:

- لا يمكن للمجهر الالكتروني النافذ TEM التقاط صور ملونة. يضاف اللون في بعض الأحيان بشكل مصطنع إلى صور TEM.
- يتعذر على المجهر الالكتروني النافذ TEM الصورة من خلال عينات سميكة: سمك العينة المعتاد هو حوالي 100-200 نانومتر. لا يمكن للإلكترونات بسهولة

اختراق أقسام أكثر سمكا من 200nm.

- لا يمكن للمجهر الالكتروني النافذ TEM القياسي تصوير معلومات السطح.
- لا يمكن للمجهر الالكتروني النافذ TEM تصوير جزيئات مشحونة متحركة بشكل موثوق في مصفوفة. على سبيل المثال ، بعض الأنواع (مثل Na +)

تكون متقلبة تحت شعاع الإلكترون لأن شعاع الإلكترون السلبي يمارس قوة على المادة المشحونة.

عندما يكون المجهر الالكتروني النافذ TEM غير مناسب ، يجب استخدام تقنيات أخرى.

2.1.5. نظرية توليد صورة المجهر الالكتروني النافذ TEM

- الطول الموجي **Wavelength**
- أنواع الصور **Image types**
- أساسيات تشكيل الصورة **Image formation basics**
- وجوه / صورة الطائرات **Object/Image planes**
- أساسيات الحيود **Diffraction basics**
- صور الحيود **Diffraction images**
- الجمع بين الصور **Combining images**
- إعداد وضع التصوير **Imaging mode setup**
- التركيز / الوصمة **Focus/stigmation**

2.1.6. طول موجة الإلكترون

يعتمد الطول الموجي للإلكترون على تسارع الجهد ويعطى بواسطة:

معادلة الطول الموجي TEM حيث تساوي معادلة الطول الموجي TEM

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

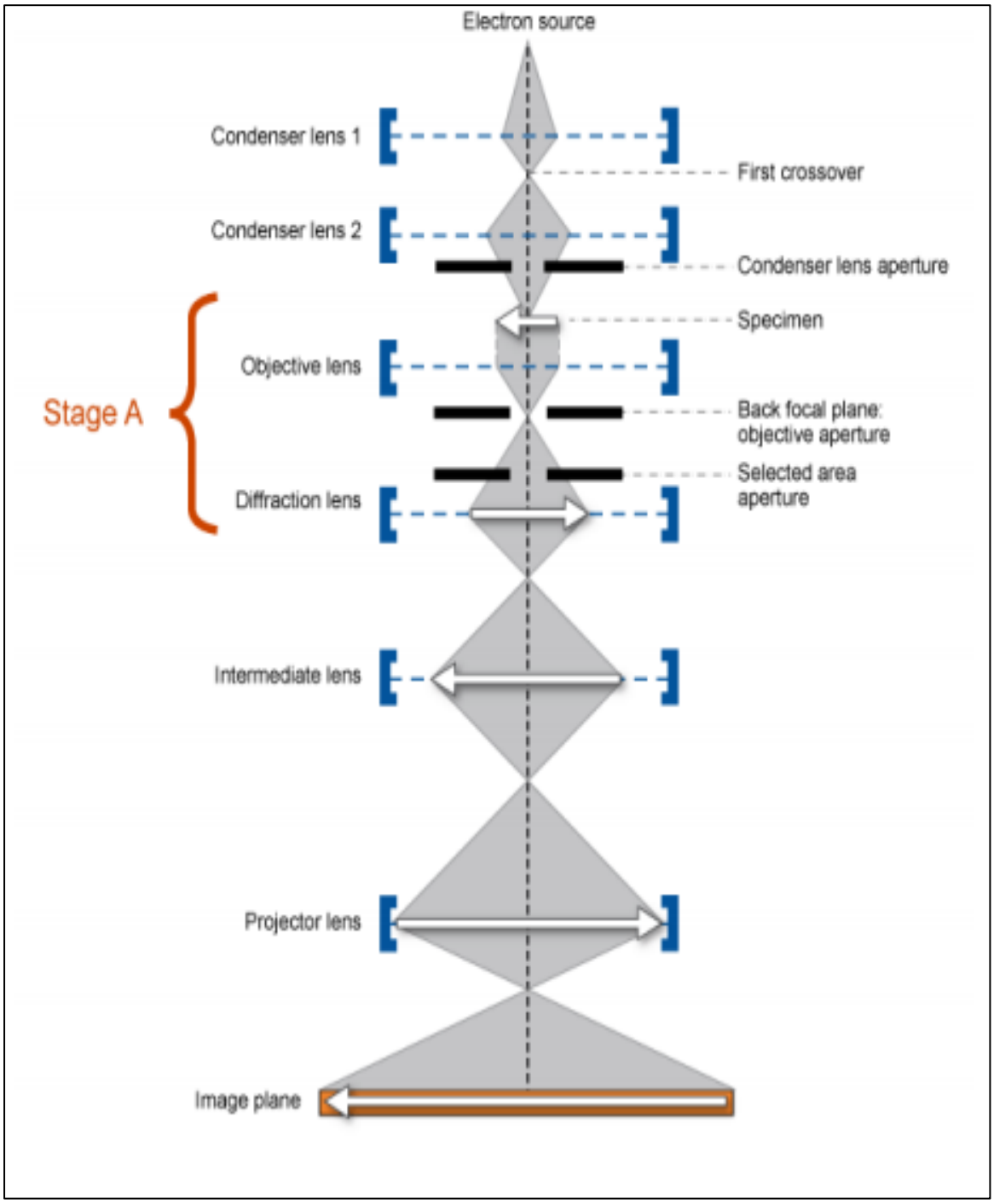
- h ثابت بلانك (6.626 × 10-34 J s)
- m كتلة الإلكترون م (9.109 × 10-31 كجم)
- e الشحنة الإلكترونية (1.60 × 10-19 مئوية)
- V الجهد المتسارع الخامس (0.5 - 3 × 104 فولت)

كلما زاد الجهد المتسارع ، كلما كان طول الموجة للإلكترونات أصغر ، وكلما كان ذلك ممكنًا ، كلما كان ذلك ممكنًا القرار.

2.1.7. أساسيات تشكيل الصورة

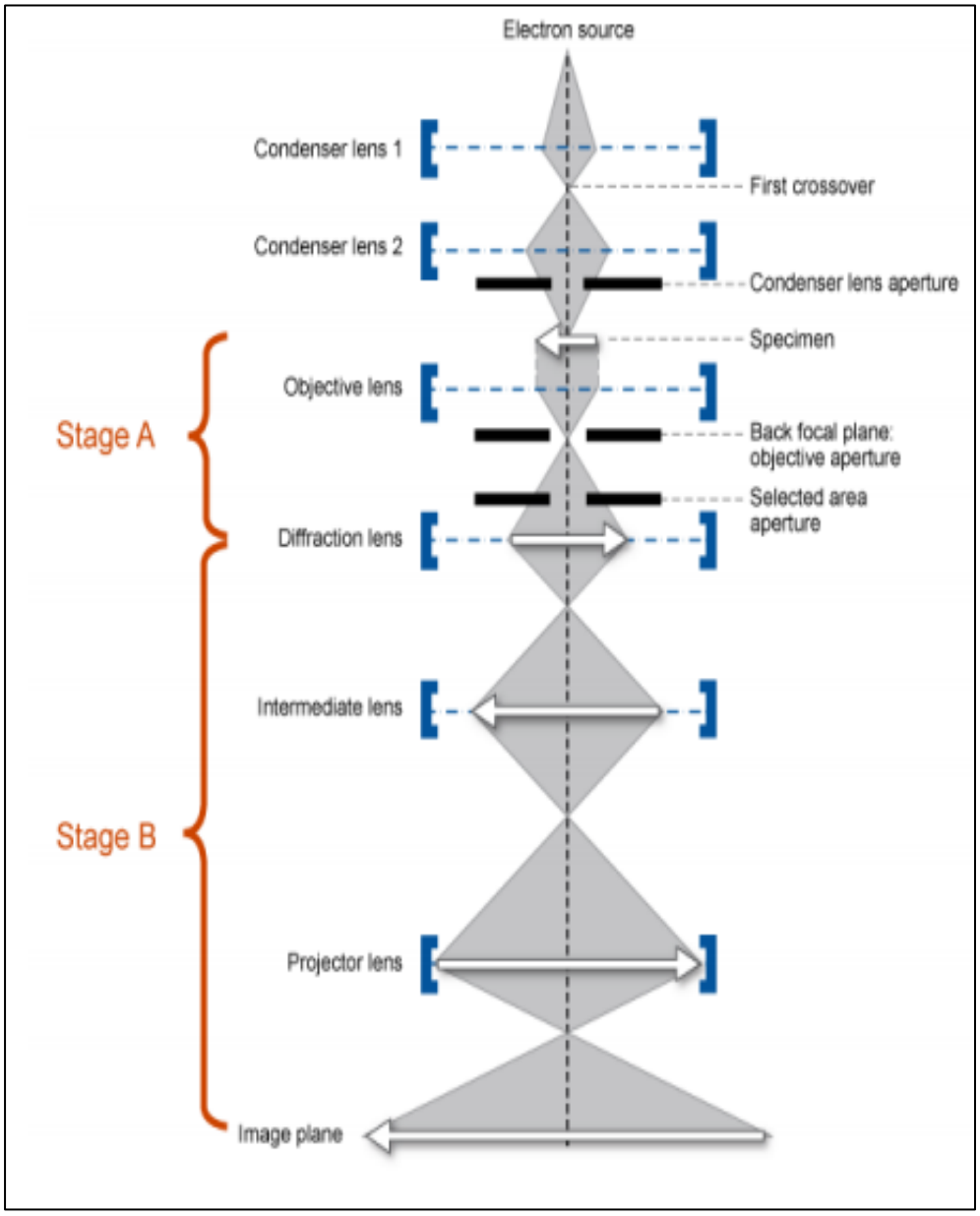
تتشكل صور TEM على مرحلتين:

1. المرحلة (A) هي تناثر شعاع الإلكترون الحادث بواسطة عينة. هذا الإشعاع المبعثر يمر عبر عدسة موضوعية ، والتي تركز عليه لتشكيل الصورة الأساسية.



شكل (16) المرحلة (A) هي تناثر شعاع الإلكترون الحادث بواسطة عينة

2. تستخدم المرحلة B الصورة الأساسية التي تم الحصول عليها في المرحلة A وتكبير هذه الصورة باستخدام عدسات إضافية لتشكيل الصورة عالية درجة النهائية المكبرة.



شكل (17) المرحلة B الصورة الأساسية التي تم الحصول عليها في المرحلة A

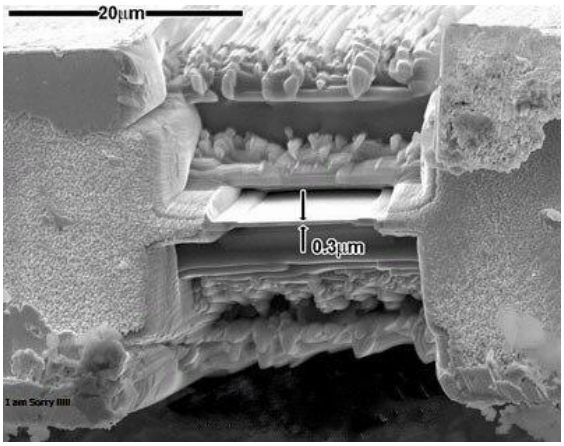
في عملية تشكيل الصورة الأولية ، تنتج العدسة الموضوعية نمط حيود على مستوى بؤريها الخلفي. النمط الحيود هو تحويل فورييه لموجة الإلكترون المبعثرة. الصورة الأساسية هي تحويل فورييه للنمط الحيود. تشكل هذه العملية المكونة من خطوتين أساس تكوين الصورة أثناء الفحص المجهري للإلكترون عالي الدقة(HRTEM).

الصورة عالية الدقة ، في الواقع ، هي نمط تداخل الحزم التي تشكلت في المستوى البؤري الخلفي للهدف عدسة.

2.1.8. تجهيز العينة Sample preparation

تعتبر عملية تجهيز العينة معقدة بعض الشيء. فالعينات التي ستفحص بجهاز المجهر الالكتروني النافذ TEMتتطلب أن تكون بسمك لا يتجاوز بضعة مئات النانومترات، فالجهاز يعتمد على تكوين الصورة بواسطة الالكترونات والتي ليس قدرة كبيرة على الاختراق كأشعة اكس. والعينات ذات الجودة العالية تكون بسمك يساوي مقدار اختراق الالكترونات لها وهذا في حدود بضعة عشرات النانومترات. تحضير العينة يعتمد على نوعها وكذلك على نوع المعلومات المطلوب الحصول عليها من فحصها في الجهاز ولهذا يوجد العديد من طرق التحضير المستخدمة. المواد التي لها ابعاد صغيرة بحيث ينفذ عبرها الشعاع الالكتروني مثل البودرة والانابيب النانوية يمكن ان تحضر بشكل سريع من خلال تصنيعها على شكل غشاء رقيق. وفي البحوث البيولوجية فان العينة يجب ان تحضر بشكل يجعلها تتحمل الضغط المنخفض والتحكم فيها داخل الجهاز يتم تثبيتها باستخدام مواد تعرف باسمnegative staining مثل مادةuranyl acetate او بتغطيتها بطبقة بلاستيكية. كما يمكن ايضا تبريد العينة عند درجة حرارة النيتروجين السائل بعد ان تغطى بغشاء زجاجي. وفي بحوث علوم الموادmaterial science وعلم المعادن فهي عادة ما تتحمل الضغط المنخفض ولكن يجب ان تحضر في صورة اغشية رقيقة او ان توضع بالترسيب على اسطح يمكن للشعاع الالكتروني من اختراقها. وهناك الكثير من الطرق المستخدمة لتجهيز العينات قبل وضعها في الجهاز وهذه الطرق متنوعة حسب نوع العينة والهدف من فحصها ومن هذه الطرق

1. فصل الأغشية Tissue sectioning
2. تلطيخ العينة Sample staining
3. التحفيف الميكانيكي Mechanical milling
4. الانتزاع الكيميائي Chemical etching
5. الانتزاع الأيوني Ion etching



شكل (18) يوضح SEM لعينة تم تجهيزها للفحص بجهازTEM

2.1.9. عيوب جهازTEM

كأي جهاز تقني له الكثير من الفوائد يصاحبه بعض العيوب ومن هذه العيوب التي تصاحب جهازTEMهو طرق تحضير العينة والتي تكون في بعض الأحيان عملية معقدة وصعبة وتستغرق الكثير من الوقت قبل إجراء الفحص. حيث أن العينة يجب أن تكون شفافة أمام شعاع الالكترونات. كما انه من المحتمل أن يحدث بعض التغيرات في العينة أثناء التحضير والإعداد. هذا اضافة الى أن نطاق الفحص في جهازTEMضيق بما لا يسمح بفحص كامل العينة. كما أن العينة قد تتعرض للضرر باصطدام الالكترونات بها وخصوصا عن فحص المواد البيولوجية.

نلاحظ ان جهازTEMجهاز مهم للباحثين والمطورين يسمح برؤية المواد على المستوى الذري ويعتبر هذا الجهاز من الاجهزة التي ساهمت في انتشار علم النانو وتقنية النانوتكنولوجي. وفي النهاية ارجو ان اكون وفقت في شرح فكرة عمل جهاز الميكروسكوب الالكتروني النافذTEMوقد سبق وان قدمت شرحا مفصلا للميكروسكوب الالكتروني الماسحSEMوكلا هذين الجهازين هما تقنيات تشغيل مختلفة لجهاز الميكروسكوب الالكتروني ويمكن الحصول على جهاز واحد يدمج كلا منSEMوTEMفي جهاز واحد وحسب طريقة التشغيل وإعداد العينية يمكنك الحصول على النتائج المطلوبة.

2.1.10. ميزات جهاز

المجهر الإلكتروني النافذ هو جهاز رائع له العديد من المميزات، مثل:

- قوة تكبير هائلة، حيث يستطيع التكبير لمليون مرة وربما أكثر من ذلك.
- يستخدم في العديد من التطبيقات، ويمكن الاستفادة منه في المجالات العلمية والتعليمية والصناعية المختلفة.
- يعطي معلومات عن تركيب العناصر والمركبات.
- يعطي صور مفصلة وعالية الجودة والدقة.
- يعطي معلومات عن سمات السطح، وشكل وحجم وتركيب المواد.
- يسهل استخدامه إذا تم التدرب على استخدامه بشكل صحيح.

2.1.11. التصوير بالمجهر الإلكتروني النافذ

يُعطي المجهر الإلكتروني صورًا بالأبيض والأسود ناتجة من التفاعل بين العينة المُجهزة والإلكترونات المحملة بالطاقة في الغرفة المفرغة. ويتم تفريغ الهواء للمحافظة على شدة شعاع الإلكترونات؛ حتى لا تمتصها جزيئات الهواء الجوي، ثم تمر الإلكترونات بعد ذلك من خلال عدة عدسات كهرومغناطيسية تتكون من إسطوانات حولها ملفات لولبية.

يمر شعاع الإلكترونات من خلال العدسات الكهرومغناطيسية؛ فيصطدم بالشاشة أسفل العمود؛ لتتحول الإلكترونات إلى موجة كهرومغناطيسية (ضوء)، وتتكون الصورة. ويمكن التلاعب في الصورة من خلال التعديل في جهد مدفع الإلكترونات؛ حيث يؤدي ذلك إلى زيادة أو نقص سرعة الإلكترونات، ويمكن تغير الطول الموجي للموجات الكهرومغناطيسية للملفات (العدسات)، وهي الملفات المسؤولة عن تركيز الصورة على الشاشة أو على لوحة فوتوغرافية. كما قلنا سابقًا، ترتبط سرعة الإلكترون بالطول الموجي المصاحب لحركته، فكلما كانت سرعة الإلكترون أكبر كان طوله الموجي أقصر، وكانت دقة الصورة أعلى وتفاصيلها أكثر وضوحاً. المناطق المضيئة في الصورة تعبر عن المناطق الموجودة بالعينة التي نفذ من خلالها عدد كبير من الإلكترونات، أما المناطق المعتمة فتعبر عن الأماكن الكثيفة التي لم تستطع الإلكترونات النفاذ من خلالها. وتعطي هذه الاختلافات معلومات عن تركيب وشكل وحجم العينة.

2.1.11.1. خصائص العينة المراد تصويرها تحت المجهر الإلكتروني النافذ

هناك خصائص معينة يجب وجودها في العينة المراد تصويرها:

أولًا: يجب أن يكون لها نفاذية إلكترونية، أي أن تكون العينة رفيعة بشكل كافي لنفاذ الإلكترونات من خلالها.

ثانيًا: يجب أن تكون العينة قادرة على تحمل الضغط المنخفض في الغرفة المفرغة، وهذا ينطبق بشكل خاص على العينات البيولوجية، التي تحتاج وقتًا طويلًا للتجهيز قبل التصوير بالمجهر.

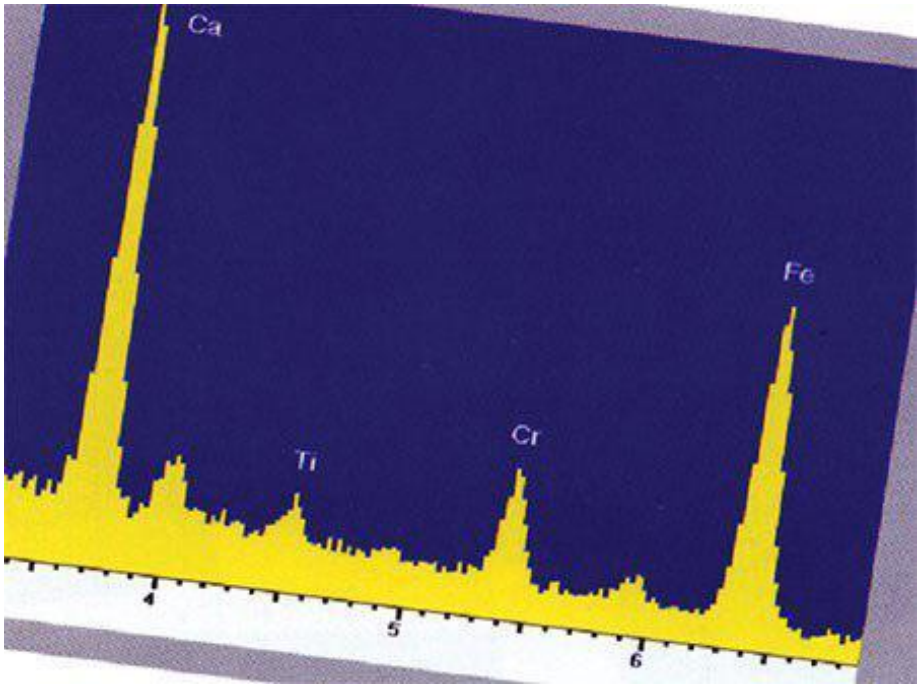
2.1.12. تطبيقات المجهر الإلكتروني النافذ TEM

يُستخدم المجهر الإلكتروني النافذ بشكل مثالي في كثير من المجالات، مثل: علوم الحياة، التقنية النانوية، الطب، الأبحاث البيولوجية والأبحاث المتعلقة بالمواد، تحليل الطب الشرعي، علم دراسة الأحجار والمعادن، الصناعة، والتعليم. ويعطي المجهر معلومات طبوغرافية، ومعلومات عن التركيب الكيميائي والبلوري، والشكل الداخلي للعينات. يعتبر المجهر الإلكتروني النافذ أيضًا وسيلة مهمة لدراسة العيوب البلورية، ومن أهمها الانخلاعات dislocations. ويمكن استخدام التصوير بالمجهر الإلكتروني النافذ في تحليل وإنتاج أشباه الموصِّلات، كما يستخدم في مراقبة الجودة أثناء تصنيع أجهزة الكمبيوتر ورقائق السيليكون. تستخدم الشركات التصوير بالمجهر الإلكتروني للكشف عن العيوب والكسور الموجودة في المواد متناهية الصغر؛ وهذا بدوره يساعد في إصلاح المشاكل، وزيادة عمر وكفاءة هذه المواد. كما يمكن استخدامه في البحث العلمي والدراسات في الجامعات والكليات.

ومن التطبيقات المجهر الإلكتروني النافذ الحديثة:

شكل رقم (19) يبن التحليل الكيميائي لمحتويات الخلايا باستخدام تقنية أشعة غير أن استخدام المثبتات والمواد الكيميائية المختلفة في تقنية المجهر الإلكتروني قد تغير في كثير من طبيعة وشكل النسيج إضافة إلى ما فيها من سمية ويعيق الكشف عن محتويات النسيج

الكيميائية فظهر ما يعرف:



شكل (19) التحليل الكيميائي لمحتويات الخلايا

1. تقنية التبريد (Cryo-technique Freezing technique)

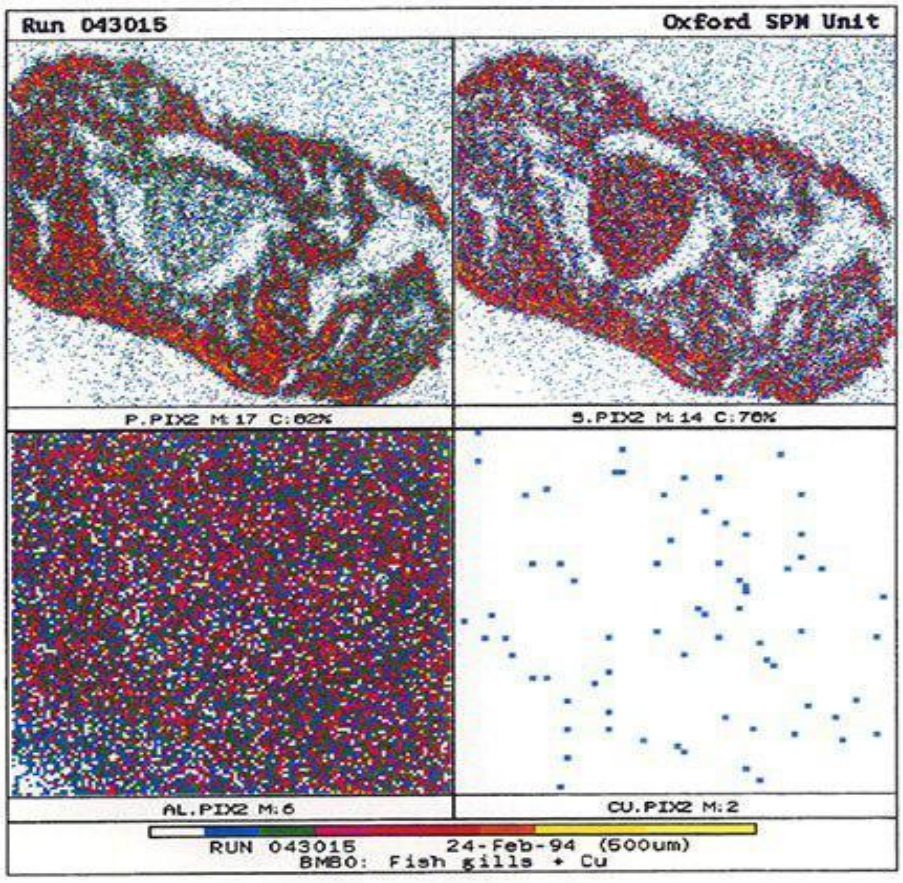
وهي دراسة العينات البيولوجية دون استخدام المثبتات أوأي مواد أخرى أواستخدام مواد كيميائية بسيطة، والهدف منها عدم تعريض العينات للمواد الكيميائية والمثبتات والحفاظ عليها ودراسة محتويات الأنسجة الكيميائية والبحث عن وجود مواد دخيلة Localization studies ومن ثم دراستها باستخدام المجهر الإلكتروني، ويستخدم فيها التقنيات التالية:

أ - التثبيت بالتبريد المنخفض والسريع (- 200م) Cryo-fixation باستخدام جهاز الـ M.M.80 الذي يحوي سائل النيتروجين المبرد Liquid Nitrogen ومرآة معدنية Metal mirror

ب - باستخدام مثبتات بسيطة مثل البارافورمالدهايد

ج - التبريد البديل Cryo-substitution تحت درجة حرارة – 80 إلى – 50 م باستخدام جهاز الـ C.S. Auto ويتم تثبيت وطمر العينات داخل الجهاز

د - التقطيع الدقيق بالتبريد Cryo-ultramicrotomy في وسط سائل النيتروجين، ومن ثم تسخن العينة إلى درجة حرارة الغرفة وتدرس تحت المجهر باستخدام تقنية أشعة X الصادرة من جهاز المجهر الإلكتروني (X-Ray Microanalysis)



شكل (20) يبين خريطة مجهريه تحليلية لبعض من عناصر الخلية

2. التحليل الدقيق بأشعةْ (EDAX X-ray Microanalysi)

يتم في هذا التطبيق التعرف على مكونات الأنسجة والخلايا الطبيعية وغير الطبيعية كيميائيا، وله تطبيقات طبية وبيئية واسعة حيث يمكن من خلاله التعرف على المواد الكيميائية والملوثات البيئية وأملاح المعادن التي تصيب وتلوث الخلايا والأنسجة (Localization Studies of tissue elements)

3. تقنية التحليل القياسي (المتري) للأنسجة Image Analysi

من خلال المجهر الإلكتروني مع الاستعانة بالدراسات الإحصائية المساعدة وبرامج الحاسب الآلي لدراسة أعداد ومساحات وأحجام وقياسات الأنسجة والخلايا و عضياتها.

3. الحفاظ على المجهر

- لا تلمس العدسات بأصابعك حتى لا تعلوها سحابة تمنع وضوح الرؤية. وإذا اتسخت امسحها برفق بالورق الخاص بتنظيف العدسات.
- لا تترك الشريحة على المسرح بعد الانتهاء من فحصها.
- امسح الزيت من على العدسة الزيتية بعد الاستعمال بواسطة الورق الخاص بتنظيف العدسات، إذا جف الزيت استخدمي الورق المبلل قليلا بالزيلول، مع مراعاة عدم الإكثار منه لأنه قد يتسبب بإذابة المواد اللاصقة للعدسات.
- يجب الاحتفاظ بالمسرح نظيفا وجافا على الدوام.
- احمل المجهر بعناية عند نقله من مكان لآخر، ضع إحدى يديك أسفل القاعدة وباليد الأخرى امسك ذراع المجهر.
- عند عدم استعمال المجهر، احتفظ به مغطى.
- طريقة فحص الغشاء باستعمال العدسة الزيتية :

1. توضع الشريحة على مسرح الميكروسكوب.
2. يضبط الضوء بالاستعانة بالعدسة الشيئية الصغرى والمكثف حتى يشاهد المجال الميكروسكوبي ومنطقة الغشاء مضاء إضاءة عالية ومتجانسة .
3. توضع نقطة زيت سيدرoil على الغشاء ثم تحرك القطعة الأنفية لوضع العدسة الزيتية في وضع الاستعمال ويدار الضابط الكبير حتى تنغمس العدسة في نقطة الزيت وتلامس سطح الشريحة ، يجب أن لا يدار الضابط بسرعة حتى لا تنكسر الشريحة . ونقوم بهذه الخطوة ونحن نراقب الشريحة والعدسة الزيتية من الخارج .
4. ننظر من خلال العدسة العينية ونحرك الضابط الدقيق لرفع أنبوبة الميكروسكوب إلى أعلى حتى نرى الخلايا البكتيرية بوضوح

4. المصادر

1. Gene Dannen: Leo Szilard the Inventor: A Slideshow (1998, Budapest, conference talk) http://www.dannen.com/budatalk.html
2. أ ب ت Ernst Ruska (1986). "Ernst Ruska Autobiography". Nobel Foundation. 2010 يناير 31 اطلع عليه بتاريخ.
3. ^ H Gunther Rudenberg and Paul G Rudenberg (2010). "Origin and Background of the Invention of the Electron Microscope: Commentary". Advances in Imaging and Electron Physics. Elsevier. 160.
4. ^ Kruger DH, Schneck P, Gelderblom HR (2000). "Helmut Ruska and the visualisation of viruses". Lancet. 355 (9216): 1713–7. PMID 10905259. doi:10.1016/S0140-6736(00)02250-9.
5. ^ M von Ardenne and D Beischer (1940). "Untersuchung von metalloxyd-rauchen mit dem universal-elektronenmikroskop". Zeitschrift Electrochemie (باللغة الألمانية). 46: 270–277. doi:10.1002/bbpc.19400460406.
6. ^ "James Hillier". Inventor of the Week: Archive. 2003-05-01. اطلع عليه بتاريخ 31 يناير 2010.
7. ^ Huang، P. Y.؛ Kurasch، S.؛ Alden، J. S.؛ Shekhawat، A.؛ Alemi، A. A.؛ McEuen، P. L.؛ Sethna، J. P.؛ Kaiser، U.؛ Muller، D. A. (2013). "Imaging Atomic Rearrangements in Two-Dimensional Silica Glass: Watching Silica's Dance". Science. 342 (6155): 224–227. Bibcode:2013Sci...342..224H. doi:10.1126/science.1242248.
8. ^ D. McMullan, SEM 1928 – 1965 على موقع واي باك مشين 2018 يناير 22 نسخة محفوظة.
9. "Microscopes: Time "Line". Nobel Web AB. 2010 يناير 27 اطلع عليه بتاريخ.
10. Gould, Stephen Jay (2000). "Chapter 2: The Sharp-Eyed Lynx, Outfoxed by Nature". The Lying Stones of Marrakech: Penultimate Reflections in Natural History. New York, N.Y: Harmony. ISBN 0-224-05044-3.

11. Wootton, David (2006). Bad medicine: doctors doing harm since Hippocrates. Oxford [Oxfordshire]: Oxford University Press. ISBN 0-19-280355-7.

12. Memoir on Inventing the Confocal Scanning Microscope, Scanning 10 (1988), pp128–138. نسخة محفوظة 22 ديسمبر 2017 على موقع واي باك مشين.

13. "Apparatus and method for particle analysis". 2017 مارس 21 في الأصل تمت أرشفته من.

14. Hoffman A ،Goetz M ،Vieth M ،Galle PR ،Neurath MF ،Kiesslich R (2006). "Confocal laser endomicroscopy: technical status and current indications". Endoscopy. 38 (12): 1275–83. PMID 17163333. doi:10.1055/s-2006-944813.

15. ^ أ ب "Electron Microscopes" أ ب ("المجهر"، المعرفة ، اطّلع عليه بتاريخ 10-4-2017. بتصرّف. ^ أ ب vs. Optical (Light) microscopes", MicrobeHunter.com, Retrieved 10-4-2017. Edited.

16. ^ أ ب ت "Microscope", New World Encyclopedia, Retrieved 10-4-2017. Edited. ↑ Michael W. Davidson, "Resolution" ،MicroscopyU, Retrieved 10-4-2017. Edited.

17. ↑ "Stereo Microscope Parts", Microscope.com, Retrieved 10-4-2017. Edited.

18. ^ أ ب "Electron microscope", New World Encyclopedia,17-9-2013 ، Retrieved 10-4-2017. Edited. شارك المقالة

19. Gene Dannen: Leo Szilard the Inventor: A Slideshow (1998, Budapest, conference talk) http://www.dannen.com/budatalk.html

20. Ernst Ruska (1986). "Ernst Ruska Autobiography". Nobel Foundation. اطلع عليه بتاريخ 31 يناير 2010.

21. H Gunther Rudenberg and Paul G Rudenberg (2010). "Origin and Background of the Invention of the Electron Microscope: Commentary". Advances in Imaging and Electron Physics. Elsevier. 160.

22. Kruger DH, Schneck P, Gelderblom HR (2000). "Helmut Ruska and the visualisation of viruses". Lancet. 355 (9216): 1713–7. PMID 10905259. doi:10.1016/S0140-6736(00)02250-9.

23. M von Ardenne and D Beischer (1940). "Untersuchung von metalloxyd-rauchen mit dem universal-elektronenmikroskop". Zeitschrift Electrochemie (باللغة الألمانية). 46: 270–277. doi:10.1002/bbpc.19400460406.

24. "James Hillier". Inventor of the Week: Archive. 2003-05-01. اطلع عليه بتاريخ 31 يناير 2010.