The use of scanning electron microscope in imaging

Hala kamal taha Mahmoud	Kirkuk university College of science Department of Physics/ Email/gulyneargz25@gmaill.com
Hawzhen yaseen mohammed	Koya university Faculty of science and health Physics department / hawzhen.00178166@ gmail.com
Haneen Juma Ajeel Jakhyur	Mustansiriya University College of Science physics department/ haneen199681@gmail.com
Abdulrahman idrees Hussein Assi	University of Zakho Faculty of science Physics department / abdulrahman.idriss.h@gmail.com
Karar blasm Daikh Askar	University of Baghdad College of Science / Physics department/ Krarblasm37@gamil.com

ABSTRACT

The goal of the project is to study the scanning electron microscope and give a general idea about the electron microscope and the stages of its development and know the mechanism on which it works, as well as knowing the basic components of the microscope and the mechanism of operation of each part. The project also aims to study the defects and distortions that appear on the image as a result of distortions due to mechanical or operational defects. In the microscope.We conclude in this research that some preventive and safety measures must be taken when operating these devices. When these devices operate, they produce X-rays when electrons collide with the sample. As we know, X-rays are harmful to humans, but you should not worry about exposure to these It is completely insulated and the generated.

Keywords: scanning, electron microscope, imaging

Introduction

الملخص

الهدف من المشروع هو دراسة المجهر الالكتروني الماسح واعطاء فكرة عامة عن المجهر الالكتروني ومراحل تطوره ومعرفة الالية التي يعمل على اساسها فضلا عن معرفة المكونات الاساسية للمجهر والية عمل كل جزء كما يهدف المشروع الى دراسة العيوب والتشوهات التي تظهر على الصورة نتيجة الزيوغ بسبب عيوب ميكانيكية او تشغيلية في المجهر.

نستنتج في هذا البحث يجب اتخاذ بعض إجراءات الوقاية والسلامة عند تشغيل هذه الأجهزة, فعند عمل هذه الأجهزة فانه ينتج عنها صدور أشعة اكس عندما تصطدم الالكترونات بالعينة وكما نعلم فان أشعة اكس ضارة على الإنسان إلا انه لا يجب عليك القلق من التعرض لأشعة اكس هذه لان العينة تكون معزولة تماما وأشعة اكس المتولدة لا تصل للشخص المشغل للجهاز، وعادة ما يرفق

تعليمات خاصة يتوجب إتباعها قبل تشغيل الجهاز وهذه التعليمات تقع ضمن سياسة الوقاية والسلامة المتبعة في المؤسسة وتختلف حسب نوع وموديل جهاز المجهر الالكتروني الماسح.

1-1:المقدمة Introduction

تعد منظومة الإضاءة في المجهر الالكتروني الماسح والمتمثلة بالعدسات المكثفة والشيئية ذات أهمية كبيرة في الحصول على قدرة تحليل عالية, فضلا عن قيم واطئة للزيوغ الكروية واللونية.

يستطيع المجهر الإلكتروني الماسح إبانة أشياء أصغر بكثير من تلك التي يستطيع إبانتها المجهر الضوئي،ولكن ليست بنفسدرجة صغر الأشياء التي يستطيع المجهرالالكتروني النافذإبانتها. ومع ذلك ,فان المجهر الماسح يعتبر أكثر فائدة في رؤية التركيبات السطحية ثلاثية الأبعاد للأشياء الصغيرة, حيث يقوم المجهر الالكتروني الماسح بتركيز شعاع الالكترونات بحيث يصبح نقطة صغيرة تصطدم بالعينة, ثم تتفاعل هذه الالكترونات مع سطح العينة ونتيجة هذا التفاعل ينعكس بعض هذه الالكترونات فضلا عن خروج الكترونات أخرى من سطح العينة , ويتم مسح الشعاع على سطح العينة مسحا عاديا كمسح صورة تلفازيه ويتحكم عدد الالكترونات الثانوية في كثافة شعاع الالكترونات الأخرى داخل أنبوبة الصورة (الالكترونات الثانوية تسمى التلفازية) ويقوم هذا الشعاع بإنتاج صورة مكبرة للعينة على شاشة تلفازيه.

2-1 نظرة تاريخية على المجهر الإلكتروني

مع بداية القرن العشرين ظهر فرع من الفيزياء يتعامل مع المسائل المتعلقة بحركة الجسيمات المشحونة كالإلكترونات, وطرائق تبئيرها بواسطة المجالات المغناطيسية أوالكهربائية,للحصول على صورة للجسم الموضوع داخل هذه المجالات , سمي هذا الفرع وكان من أهم Electron Optics)(EOبالبصريات الإلكترونية تطبيقاته المجهر الإلكتروني (EM(Electron Microscope .

الأولى ;هناك ركيزتان أساسيتان بني عليهما المجهر الإلكتروني de BroglieLoisفرضية الفيزيائي الفرنسي لويس دي برولي حول الطبيعة الموجية للجسيمات. التي تنص على أن 1925عام يصاحبه موجة طولها (v) وسرعته (m)الجسم الذي كتلته يرتبط مع زخم الجسيم وفقا للعلاقة(λ).

$$\lambda=h/mv \quad \text{..... (1-1)}$$

ويساوي Plank's constant يمثل ثابت بلانك hحيث إن Hans Bush, والركيزة الثانية تجربة العالم $6.62x10^{-34}$J.s)(الذي أوضح عمليا بأن المجالات المغناطيسية 1926عام المتناظرة محوريا تقوم بتركيز الحزمة الإلكترونية في نقطة واحدة وتبئيرها.إن توزيع المجال الذي يمتلك قوة التركيز أطلق عليه اسم أول من عرف العدسة Bush), ويعدالعالم Lensالعدسة (هذا الاكتشاف قاد الإلكترونية بهذاالاسم وأعطاها التفسير البصري إلى تطور سريع في مجال البصريات الإلكترونية الذي أدى إلى Ruska و Knollاختراع المجهر الالكتروني . حيث قام العالمان في برلين ببناء أول مجهر الكتروني مجهز بفولتية 1931عام) مرة سمي بالمجهر الإلكتروني 16) وبتكبير (50(kVتعجيل Transmission ElectronMicroscope(TEM)النفاذ استمر تطور المجهر الالكتروني وتنوعت استخداماته, اذ تم بناء مجاهر الكترونية ذات قدرة تحليل عالية بحيث أصبح بالإمكان استخدامها في تصوير الشبيكة البلورية وفحص النماذجالبيولوجية, على أول صورة للبكتريا من 1934 عام Martinحصل العالم سطوح الأجسام Knollفي حين درس المجهر الالكتروني والعيوب التي تحدث فيها وكذلك التركيب الكيميائي للمواد عن طريق تصميم مجهر الكتروني جديد سماه المجهر الإلكتروني Scanning Electron Microscope(SEMالماسح (1935) وذلك عام μm (100وبتحليل

في تطوير مجهر Ruska وVan Borris نجح 1939في عام , مما nm (10)الكتروني نفاذ والحصول على حدود تحليل قدرها شجع ذلك شركة سيمينس الألمانية على دعم مجهرهما مادياً وبذلك تم تصنيعه وانتشاره تجاريا لأول مرة إن أول مجهر الكتروني ماسح , 1942 في عامZworykinحقيقي تم وصفه وتطويره من قبل Secondary Electron (SE)وبين بأن الالكترونات الثانوية Surfaceتعطينا صوراً لسمات وخصائص السطوح وقد تم استخدام أنبوب المضاعف الإلكتروني Topography .nm(50كمكبر أولي للإلكترونات الثانوية وبقدرة تحليل

3-1 ما هو المجهر الالكتروني؟

What is Electron Microscopy

المجاهر: هي من الأجهزة الأوسع استخداما في علم الأحياء,):هو جهاز يعطينا صورة مكبرة للأشياء Microscopeوالمجهر(التي ننظر إليها. وقد استخدم علماء الأحياء المجاهر لدراسة الكائنات الحية والخلايا وأجزائها الصغيرة التي لأيمكن بالعين المجردة رؤيتها, حيث تكبر المجاهر الاشياء وتكشف عن تفاصيلها في آن واحد

اختُرع حتى مجهر أدقّ مجهرالإلكترونات المجهر الإلكتروني أو وله تطبيقات كثيرة الخلية اليوم، يعتمده الفيزيائيون للنظر في داخل في مختلف المجالات , اذ انفحص الأشياء الدقيقة الحجم بواسطة المجهر الضوئي ترتبط بقوة التمييز لدى المجاهر الضوئية, مرة تصبح صورة العينة غير (2000) فإذاتجاوزت قدرة التكبير واضحة أو ضبابية, ولفحص عينات أصغر من

5- تعتمد تكوين الصورة على انه يحدث نتيجة لاصطدام الالكترونات بسطح العينة ومنها تنعكس بزوايا متفاوت للإلكترونات ثم تستلم بواسطة الكاشف الضوئي.
6- يمتاز المجهر الالكتروني بخاصية وهي السماح بالمشاهدة المباشرة للمورفولوجيا وتركيب دقائق الحفر وذلك باستبانة عالية الدقة تصل إلى حد مشاهدة تجمع الذرات.

7-ومن المعلوم أيضا انه يمكن أن نجمع بواسطة صور المجهر الالكتروني معلومات عن شكل وحجم وانتشار تجمع الذرات (الحبيبات) ومعرفة ما أذا كانت هذه الحبيبات تنتمي إلى مناطق النشطة للمادة الحافزة أو المادة الداعمة لها وكذلك معرفة كيفية توزيع المادة

الحافزة بالنسبة للمادة الداعمة, كما يمكن الحصول على معلومات بخصوص تماثل وأبعاد وحدة بناء بليرات مادة الحافزة وعيوب الشبكة البلورية.

قدرة التكبير لدى المجهر الالكتروني 5-1

The magnification of the electron microscope

:هو زيادة الحجم لشى معين, أما (Magnification)التكبير التمييز(أو قوة التبيين) هي اصغر مسافة بين اصغر جسمين متقاربين يمكن أن نراها بوضوح تام مفصولين تماما عن بعضهما من غير أي تداخل. يتميز المجهر الإلكتروني بتكبير أكبر بكثير عن التكبير الذي تصل إليه المجاهر الضوئي, وترجع تلك الكفاءة إلى أن المجهر الإلكتروني يستخدم شعاعا من الإلكترونات، ويستفيد من ازدواجية (كجسيم وموجة في نفس الوقت الإلكترون ازدواجية موجة-جسيم),ويقوم المجهر بمعالجة شعاع الإلكترونات كما لو كان شعاعا ضوئيا مع الفارق أن المجهر الإلكتروني لتحزيم وضبط شعاع الإلكترونات بدلا عدسات مغناطيسية يستعمل .من العدسات الضوئية التي يستعملها المجهر الضوئي المعتاد أقصر نحو طول موجة ونطرأ لأن الإلكترونات لها مرة من طول موجة الضوء العادي ففي استطاعتها (100.000) وتبلغ تكبير .المجهر العادي "يراه"رؤية أشياء أصغر بكثير عما)مرة بينما يبلغ أقصى (2.000.000المجهر الإلكتروني نحو)مرة فقط. (2000تكبير للمجهر الضوئي نحو

الفيروسات، قد يختار العلماء واحداً من أو الخلايا الخلاياكمكونات بضعة أنواع من المجاهر الإلكترونية

بدلا من الإلكترونات في المجهر الإلكتروني تقوم حزمة من الضوء بإعطاء صورة مكبرة للعين, المجاهر الإلكترونية شعاع طول أقوى بكثير من المجاهر الضوئية, ويرجع ذلك إلى أن المقترنة بالإلكترون أقصر كثيرا عن طول موجة الضوء الموجة ويمكن لبعض المجاهر الإلكترونية أن تظهر حتى محيط .المرئي ذرّات منفصلة في إحدى العينات، يقوم المجهرالإلكتروني) بإرسال حزمة من الإلكترونات عبر شريحة عينة (TEMالنافذ بتكبير الصورة وضبطها عدسات مغناطيسية رقيقة جداً، فيما تقوم لوح فوتوغرافي,يكبر المجهر ورؤيتها على شاشة أو تسجيلها على مرة، لكن من سلبياته 200.000) الإلكتروني النافذ الأشياء حتى (أنه لا يمكن استخدامه لمشاهدة العينات وهي حية.

) لا ضرورة لتقطيع العينة SEMأما المجهر الالكتروني الماسح (. إلى شرائح من أجل رؤيتها، إنما يكفي رشها بطلاء معدني رقيق لتسقط على سطح العينة، مما يدفع تُرسل حزمة من الإلكترونات الطلاء المعدني إلى إطلاق وابل من الإلكترونات نحو شاشة لوحة تصويرفوتوغرافي فتعطي صورة لسطح الشى فلورية أو , تستطيع المجاهر الإلكترونية الماسحة

مرة ولا يمكن استخدامها لمشاهدة (100.000)تكبير الأشياء حتى للمجهر الإلكتروني النافذ. العينات وهي حية، كما هي الحال بالنسبة

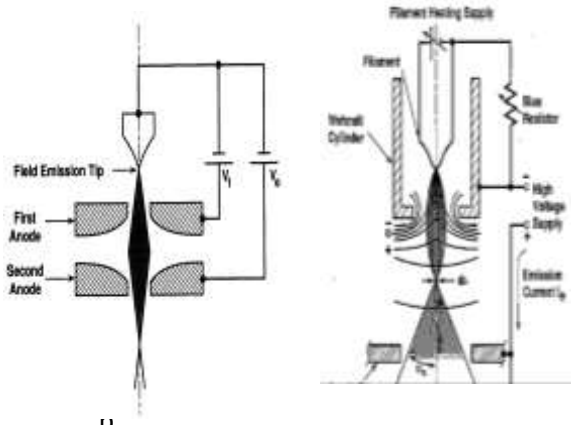
4-1 مميزات المجهر الالكتروني:

Features of Electron Microscope

1- لقد حقق اكتشاف المجهر الالكتروني زيادة كبيرة في قوة الوضوح حيث تغلبت المجاهر الالكترونية على الضوئية في قوة الإظهار والتبيين والتمييز إضافة إلى التكبير العالي الذي يعتمد علي قدرة التحليل (Resolving Power) عند تمرير الشعاع الالكتروني خلال الجسم المراد فحصه (العينة) لنراها على لوحة تصوير ضوئي حساسة ومن ثم نقلها إلى أفلام أو إلى كمبيوتر متصل بالمجهر الالكتروني.
2- العينة المراد رؤيتها ستفحص تحت تفريغ عالي High vacuum لذا يجب أن لا تحتوي العينة على أية نسبة من الماء حتى لا تعوق مرور تيار الإلكترونات.
3- قوة التكبير في المجهر الالكتروني تعتمد على عدسات الكترونية.
4- الطول الموجي للشعاع للإلكتروني والذي يقاس بالنانوميتر يكون قصير جدا مقارنة بالطول الموجي للشعاع الضوئي للمجهر الضوئي.

)أما قطر ev (0.3في الحزمة يساوي Δأوانتشارالالكترونات المصدر بحدود(,5 nm.)

وهنالك نوع آخر من مصادر الانبعاث المجالي هي مصادر شوتكي, فهي في الحقيقة باعثات حرارية ولكن خصائصها تشبه وطاقة βمصادر الانبعاث المجالي البارد فلها اللمعان نفسه الانتشار ولكن حجم المصدر كبيرنسبيا(nm30-20) .



a)قاذف الانبعاث a): مخطط القاذف الإ ي (2-2الشكل( ) قاذف الانبعاث المجاليbالحراري (

واحداً من أهم معلمات القاذف Brightness(β) يعد اللمعان الإلكتروني الذي يحدد مقدار التيار الواصل إلى النموذج, ويعرف α_c المنبعث عند الكاثود لوحدة الزاوية الصلدة J_cبأنه كثافة التيار عند الكاثود ويمكن التعبير عنه بالعلاقة الآتية

$$\beta = \frac{J_c}{\pi\alpha_c^2} \quad \text{.....(2-1)}$$

هنالك نقطة مهمة يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار وهي أن اللمعان على طول المحور البصري كمية ثابتة ومحفوظة عند أية نقطة داخل العمود البصري من فتحة الأنود وصولا إلى النموذج أي أن

$$\beta = \frac{4i_G}{\pi^2 d_G^2 \alpha_G^2} = \frac{4i_p}{\pi^2 d_0^2 \alpha_p^2} \quad \text{.....(2-2)}$$

القطر المؤثر للمصدر d_Gيمثل تيار الحزمة الإلكترونية, i_Gإذ إن تمثل زاوية الفتحة للحزمة الإلكترونيةعند α_Gالإلكتروني و يمثل القطر الهندسي, d_0يمثل تيار المجس الإلكتروني i_pالقاذف, هي زاوية الفتحة α_P (الصورة الكاوسية) للمجس الإلكتروني و) يمكننا 2-2للحزمة الالكترونية عند سطح النموذج . ومن المعادلة(بالمعادلة الآتية :β من خلال d_0التعبير عن

2-2EG(Electron Gun القاذف الإلكتروني (

يعد القاذف الإلكتروني أهم جزء في أي نظام بصري الكتروني, وهو المصدر الرئيس للحزمة الإلكترونيةإذ يتكون من (عدسة كهروستاتيكية ومعجل للإلكترونات) إذ يتم تعجيل , يعتمد الأداء kV(1 – 40)الإلكترونات الحرة بطاقة تتراوح البصري لأي مجهر الكتروني بصورة أساس على نوع القاذف المستخدم.

هناك نوعان من القاذفات الإلكترونية المستخدمة في المجهر الماسح حسب طريقة انبعاث الالكترونات وهما:

1- قاذف الانبعاث الحراري Thermionic Emission Gun(TEG)

هذا النوع من القاذفات يكون الكاثود (الفتيلة) مصنوع إما من سلك .يتم تحرير الإلكترونات من سطح LaB_6 أو من بلورة Wالتنكستن المعدن الصلب نتيجة لارتفاع درجةحرارته, عندها تكتسب الإلكترونات طاقة حركية كافية للتغلب على حاجز الجهد عند السطح .ويكون هذا النوع من القاذفات صورة حقيقية لنقطة التقاطعأونقطة واقعة بين الكاثود والانود Crossoverعبور الحزمة الإلكترونية ويتم الحصول على هذه µm(100 – 20)ويتراوح قطرها الموضوعة أمام Wehnelt الصورة بواسطة اسطوانة وينلد),ويفضل عادة استخدام فتيلة 2-2aالكاثود كما مبين بالشكل(التنكستن بسبب وفرتها وقلة تكاليفها وسهولة تصنيعها ولأن معظم تطبيقات المجهر الماسح تكونفيها الحاجة دائما إلى تيارات عالية ومستقرة, في حين أن اللمعان العالي يكون غير ضروري, وعليه فإن استخدام فتيلة التنكستن لا يعد خسارة فيالأداءالبصري للمجهر الماسح ولكن سيكون هو الاختيار الأفضل والأجود.

2 -Field Emission Gun (FEG)- قاذف الانبعاث المجالي

هذا النوع من القاذفات يكون الكاثود عبارة عن بلورة أحادية من) , يسلط مجالاً كهربائياً قوياً tipالتنكستن ويكون بشكل مدبب (10^9إذ يتم وضع الجهد السالب العالي عند الحافة V/m>جداً) خلال tunnelالمدببة مما يسمح للإلكترونات بعملية الانفاق (سطح حاجز دالة الشغل, يحتوي هذا النوع من القاذفات على انودين لتبئير الحزمة الأولية إلى نقطة التقاطع كما مبين بالشكل), ويعمل الأنود الثاني بتعجيل الإلكترونات إلى الطاقة 2-2b(النهائية المطلوبة .

وعادة يسمى هذا النوع من المصادر بمصادر الانبعاث البارد, لأنه لا يحتاج إلى عملية التسخين,وبإمكانه العمل تحت درجة حرارة الغرفة.

هذا النوع من القاذفات يكون صورة وهمية لنقطة التقاطع ويتطلب 10^{-8} وطاقة تعريض Paتفريغاً عالياً أكثر من

$$d_o^2 = \frac{4i_p}{\pi^2 \beta \alpha_p^2} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2\text{-}3)$$

للحزمة الإلكترونية (d_0) أن القطر الهندسي2-3 تبين المعادلة (المبأرة على سطح النموذج يرتبط بعلاقة طردية مع تيار الحزمة , لكن في الحالات التي يتطلب فيها الحصول على صور بتحليل i_p عالٍ فإنه لابد من وجود عملية التوافق بين حالة الحصول على تيار عالٍ مع نصف قطر صغير على الرغم من إن العلاقة بينهما طرديه كما أشرنا أعلاه .

إن قطر الحزمة الإلكترونية يتراوح من (نانومتر – مايكرومتر) وتحمل تيار يمتد من (بيكو امبير– مايكرو أمبير) اعتمادا على نوع القاذف المستخدم, ففي القاذفات الحرارية فإن d_p=10nm في وهذا النوع من ,d_p=1.2 nm حين قاذفات الانبعاث المجالي القاذفات تستخدم لأغراض التحليل العالي .

إن اقل قيمة لتيار الحزمة لازم للحصول على صورة من)وهذه القيمة 1PAيسمى بتيار العتبة ويساوي تقريبا (SEMأجهزة SEM .تتحدد من منظومة الكواشف وأجهزة عرض الصورة في

إن اللمعان للمجس الإلكتروني يزداد بعلاقة خطية مع الجهد المعجل للحزمة الإلكترونية وفقا للمعادلة الآتية.

$$\beta = \frac{J_c V_r}{\pi K_B T_c} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2\text{-}4)$$

درجة حرارة الكاثود .T_c ثابت بولتزمان و K_Bإذ إن

3-2 منظومة الإضاءة (العدسات المكثفة والشيئية)

Illumination System

وهي منظومة بصرية الكترونية تقع مباشرة بعد القاذف الإلكتروني (Electron) EPوهي المسؤولة عن تكوين المجس الإلكتروني (الذي يضيء سطح النموذج, وعادة تحتوي منظومة Probe الإضاءة في المجاهر الإلكترونية الماسحة الحديثة على اثنتين أو ثلاث من العدسات الكهرومغناطيسية , العدستان الأولى والثانية تقومان بتجميع حجم الحزمة الالكترونية وتصغيرها وتعرفان بالعدستين المكثفتين, أما الثالثة فتقوم بتبئير الحزمة وتركيزها على سطح النموذج وتسمى بالعدسة الشيئية .

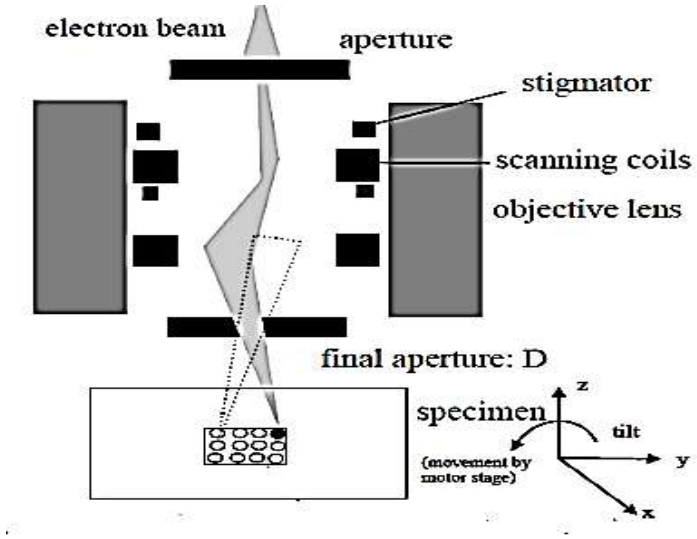
Optical Columnوتقع منظومة الإضاءة داخل العمود البصري المفرغ تفريغا جيدا بواسطة منظومة التفريغ .

في الغالب عند تصنيع العدسات الشيئية يجب أن نأخذ بنظر الاعتبار , Scanning Coilsمواقع كل من ملفات المسح Final Aperture والفتحة النهائية Stigmatorالاستكماتور

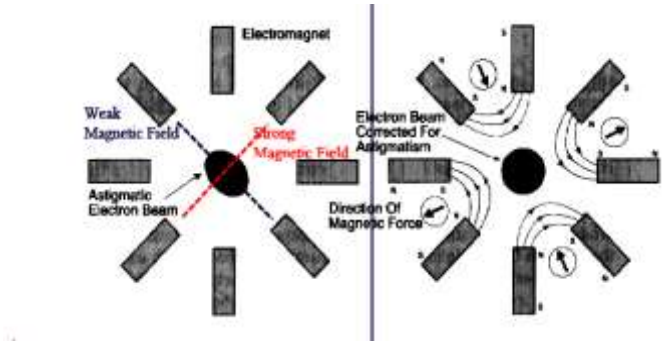
إن ملفات المسح أو الحارفات تعمل على توجيه الحزمة الإلكترونية نحو العينة المراد فحصها وتحريكها بصورة متوازية بالاتجاهين ( ) . 2-3) كما مبين بالشكل(Y و X

وتتألف من أربعة مغانيط مرتبة بصورة شعاعية تنتج مجالات مغناطيسية عمودية على المحور البصري , ويتم التحكم بحركة الحزمة الإلكترونية من خلال تغيير التيار المار بالمغانيط,أماالاستكماتورأو معالج عيوب الاستكماتزم الناتجة من أخطاء عدة منها الأخطاء التصنيعية للعدسات,وعدم التماثل في الملفات المغناطيسية , والمجالات المغناطيسية غير المتجانسة في الحديد والتلوث داخل العمود البصري فضلاً عن الاختلال وعدم التراصف في العمود البصري.

ويتألف من ثمان عدسات كهرومغناطيسية ضعيفة وملفات متصلة في اتجاهين معاكسين لتحقيق أقطاب مختلفة تعمل على تصحيح المجال المغناطيسي من أجل الحصول على حزمة الكترونية متناظرة) .2-4عند سطح العينة كما مبين بالشكل (



) ملفات المسح في المجهر الالكتروني الماسح2-3الشكل (



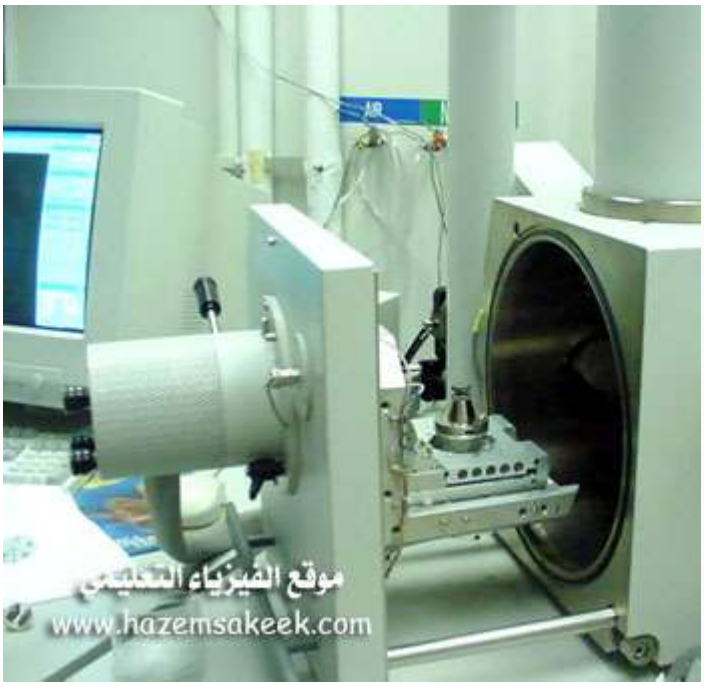
) الاستكماتور2-4الشكل (

4-2 منظومة التصوير(الكواشف وأجهزة عرض الصورة)

Imaging System

Detectorsتتألف هذه المنظومة في المجهر الماسح من الكواشف , قد يتبادر إلى الأذهان أن Displayوأجهزة عرض الصورة الكواشف تشبه العدسة العينية في المجهر الضوئي غير أن الأمر أكثر تعقيدا,فالكواشف المستخدمة في المجهر الإلكتروني الماسح ترصد تفاعل سيل الإلكترونات مع العينة بطرائق عديدة فعلى سبيل المثال كواشف OverhartThornely تكشف الإلكترونات الثانوية Secondary Electron Detectors(SE) وهي تلك الإلكترونات المتحررة من السطح الخارجي للعينة وهذه الكواشف قادرة على إنتاج أدق الصور لسطح العينة وهناك كواشف أخرى مثل كواشف الكترونات الاستطارة الخلفية BSED)(Back Scattered Electron Detectors وكواشف أشعة أكس التي تمكن العلماء من خلالها تحليلالمركبات الكيميائية الموجودة في العينة ومعرفتها.

وتقع الكواشف جميعها في غرفة تعرف بغرفة العينة المفرغة تفريغا جيدا من قبل منظومة التفريغ الملحقة بالجهاز والصورة التالية توضح غرفة العينة.



2- 5 زيوغ العدسة الشيئية وتأثيرها على قطر المجس الإلكتروني للحزمة الأولية

إذا تأملنا بصريات المرتبة الأولى فقط فإن قطر المجس فقط d_G سيتغير كدالة لd_oالإلكتروني الساقط على سطح النموذج .أما عملياً فإن عملية التبئير للحزمة الأولية على سطح النموذج

تكون محددة بالأنواع المختلفة لزيغ العدسات الشيئية , الذي يحدد بدوره مقدار التحليل في أجهزة SEM .

إن أهم الزيوغ التي تعانيها العدسة الشيئية هو الزيغ الكروي , والزيغ اللوني والحيود , لذلك تم الاعتماد على هذه الزيوغ كأساس في الحكم على أفضلية هذه العدسات .

6-2Spherical Aberration الزيغ الكروي

Apertureيعرف هذا الزيغ في بعض الأحيان بزيغ الفتحة ويعد من الزيوغ الهندسية التي تحدد قدرة تحليل العدسة Defect للحزمة الإلكترونية البعيدة عن المحور عن تلك القريبة منه. نتيجة الزيادة في تحدب خطوط الفيض المغناطيسي مع الابتعاد عن المحور البصري.

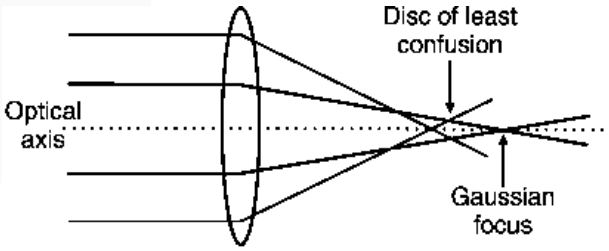
ونتيجة لذلك فإن الالكترونات التي تمر بعيدا عن المحور تنكسر بقوة اكبر من تلك التي تمر قريبة منه كما مبين بالشكل(3-1.)

يلاحظ من الشكل إن الأشعة لا تلتقي في نقطة واحدة بعد خروجها من العدسة بل يتكون قرص الاضطراب الاقل(Disk of Least Confusion) قطرهُ (ds) يعطى بالمعادلة الآتية[38]:

$$d_s = 0.5 C_s \alpha_p^3 \quad \text{.....(3-1)}$$

إذ إن (C_s المعادلة , الزيغ الكروي معامل يمثل 3-1) لها أهمية كبيرة في البصريات الإلكترونية إذ إن لجميع العدسات المغناطيسية معامل زيغ كروي لا يساوي صفر, ولكن يمكن تقليله إلى أقل ما يمكن عن طريق استخدام فتحة ذات نصف قطر صغير أو عدسات ذات بعد بؤري قصير لأن C_sيتناسب مع f .

يعد الزيغ الكروي من أهم الزيوغ التي تحدث في العدسات الشيئية , لأنه يؤثر على جودة الصورة التي تكونها العدسة ويلعب دوراً مهما في تحديد قدرة تحليل المجهر الإلكتروني.



) تأثير الزيغ الكروي3-1الشكل (

7-2Diffraction Aberration زيغ الحيود

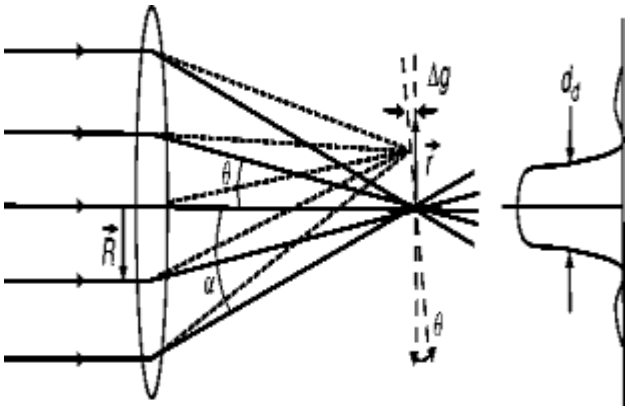
وفقا للطبيعة الموجية المصاحبة للحزمة الإلكترونية, فإن الحزمة تحيد عن مسارها خلف الفتحات الصغيرة, إذ يتكون حيود فرانهوفر الذي يؤدي إلى تعريض الحزمة الإلكترونية وظهور قرص اضطراب يدعى بقرص (Airy Disk) كما مبين بالشكل (3-3), وعرض النصف لهذا القرص يعطى بالمعادلة.

$$d_d = \frac{0.61\lambda}{\alpha_p} \quad \text{.....(3-3)}$$

إذ إن λ طول موجة ديبرولي يعطى بالمعادلة (2-1.

من المعادلة (3-3 نلاحظ أن d_d يتناسب عكسيا مع α_p وهو يتغير بالطريق المعاكس الذي يتغير به كل من d_s و d_c مع α_p .

وبما أن الزيغ الكروي واللوني يحدد قيمة زاوية الفتحة بحدود عدة ملي راد , فان مساهمة زيغ الحيود في معظم الحالات يصل الى بضعة نانومترات من حجم البقعة النهائية .



تأثير الحيود (3-3الشكل)

8-2SEM كيف يعمل المجهر الالكتروني الماسح

How it Works of Scanning Electron Microscope

يمكن تشبيه عمل المجهر الماسح بآلة نسخ المفاتيح, فعندما تطلب نسخة إضافية لمفتاح من صانع المفاتيح فانه يقوم بوضع المفتاح الأصلي في مكان وتقوم الماكينة بتتبع التفاصيل الدقيقة للمفتاح وتضعها على المفتاح الخام لينتج في النهاية نسخة طبق الأصل عن المفتاح الأصلي.

3-3 الزيغ اللوني Chromatic Aberration

يحدث هذا الزيغ في العدسات المغناطيسية الشيئية, بسبب اختلاف سرع الإلكترونات المنبعثة من المصدر, أو بسبب تغير المجال المغناطيسي للعدسة , نتيجة لعدم استقراريه تيار ملف التهيج, مما يؤدي ذلك التغير في الطاقة التي تنتشر بها الإلكترونات (ΔE .

لذلك فإن الجسيمات ذات السرع العالية سوف تتجمع بنقطة أبعد إلى الجسم من تلك التي لها سرع أقل .

يوضح الشكل (3-2 بأن الإلكترونات ذات الطاقات المختلفة سوف تقطع المحور البصري في النقطتين عند مستوى الصورة وهذا يؤدي إلى ظهور قرص اضطراب قطره d_c يعطى بالمعادلة:

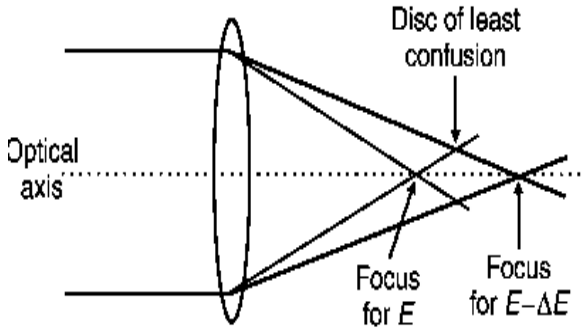
$$d_c = C_c \frac{\Delta E}{E} \alpha_p \quad \text{.....(3-2)}$$

إذ إن C_c و E يمثل معامل الزيغ اللوني وهو دائما كمية موجبة طاقة الحزمة المعجلة .

تبين المعادلة (3-2 بأن العلاقة بين قطر الحزمة بسبب تأثير الزيغ اللوني يرتبط مع ΔE بعلاقة خطية ويتناسب عكسيا مع طاقة الحزمة المعجلة E , لذا فإن التأثير السلبي للزيغ اللوني يزداد وضوحا عند الفولطيات الواطئة.وقد حاول الباحثون التقليل من قيمة C_c في حالة SEM لا سيما بعد التطورات التي حصلت مع أجهزة استخدام حزمة الكترونية معجلة بفولطية واطئة.

يمكن تقليل [C_c] لأن مقدار التحليل يعتمد بصورة رئيسة على مقدار تأثير الزيغ اللوني عن طريق زيادة طاقة الحزمة المعجلة E وباستخدام فتحة صغيرة القطر.

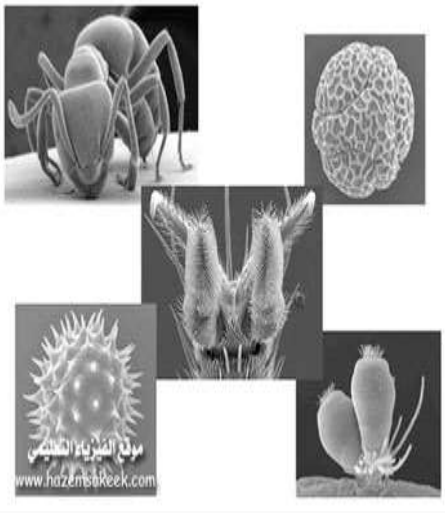
ومن الجدير بالذكر بأنه هنالك حدود في تقليل قطر الفتحة ليس بسبب تحديد كمية التيار الواصل إلى النموذج فقط , وإنما أيضا بسبب ظهورتأثيرات الحيود .



تأثير الزيغ اللوني (3-1الشكل)

وهي تقنية تستخدم في إنتاج sputter coating بالانتزاع الأغشية الرقيقة.

وهذه التقنية تطبق طبقة رقيقة على العينة تجعلها موصلة كهربائيا بالأرضي لتمنع من العينة من ان تصاب بالضرر أثناء الفحص بواسطة الشعاع الالكتروني الموجه عليه.



وحيث ان العينة سوف توضع في الجهاز وسوف تتعرض لضغط منخفض عند سحب الهواء من الجهاز ليعمل في الفراغ فان العينة تخضع لمزيد من التحضير لضمان أن تبقى العينة متماسكة في ظل هذه الظروف الحرجة, فالعينات البيولوجية على سبيل المثال تجفف قبل أن توضع في جهاز مجهر الالكتروني الماسح,وإذا لم يتم ذلك فان الضغط المنخفض سوف يجعل الماء في العينة يتبخر بسرعة مما يتسبب في افساد العينة وتغير ملامحها.

بعض العينات الأخرى يتم تجميدها قبل الفحص، وهناك عينات يتم معالجتها كيميائيا حتى تتمكن من البقاء متماسكة في عملية التكبير.

لاحظ أن النسخ لا يحدث في نفس اللحظة إنما يتم على شكل تتبع لطرف وتطبيقه على الطرف الأخر, يمكنك الآن أن تتخيل العينة تحت الفحص هي المفتاح الأصلي.

في استخدام شعاع الالكترونات الناتج عن SEM يأتي دور جهاز المدفع الالكتروني وتوجيهه للعينة ومسح سطح العينة ليقوم بعمل نسخة طبق الأصل ولكن هنا يظهر لك النسخة على شاشة تلفزيون, وبدلا من إن يقوم الشعاع الالكتروني بمسح سطح العينة في بعد واحد فانه يقوم بمسح ثلاثي الأبعاد لينتج لك صورة ثلاثية الأبعاد بكل التفاصيل من تجاويف وخدوش وشقوق عندما يمسح الشعاع الالكتروني سطح العينة فانه يتفاعل مع السطح وينتزع الكترونات من سطح العينة بشكل محدد, هذه الالكترونات المنتزعة يتم كشفها بواسطة الكاشف عن طريق جذب الالكترونات المتشتتة وبالاعتماد على عدد الالكترونات التي تصل للكاشف، فإنها تسجل درجة معينة من مستوى الإضاءة على الشاشة, وباستخدام مجسات إضافية يتم الكشف عن الالكترونات المتشتتة بالانعكاس عن سطح وكذلك أشعة اكس المنبعثة عن العينة, backscattered العينة نقطة بنقطة وسطر بسطر يتم تكوين الصورة عن العينة الأصلية ومن هنا جاء اسم الجهاز بأنه جهاز ميكروسكوب الكتروني ماسح والآن أصبحنا نعرف لماذا أطلق عليه اسم الماسح.

بعمله بدون ان يتم التحكم في SEM بالطبع لا يمكن أن يقوم جهاز حركة الشعاع الالكتروني والذي يتحكم فيه من خلال المجال المغناطيسي باستخدام فرق جهد متغير، للتحكم في تحريك شعاع الالكترونات على العينة.

وتقوم ملفات توليد المجال المغناطيسي بإنتاج المجال المغناطيسي اللازم لمسح الشعاع الالكتروني بشكل دقيق ذهابا وإيابا على العينة.وإذا أراد الباحث أن يزيد قوة التكبير فانه يقوم بجعل الشعاع الالكتروني يقوم بالمسح على منطقة اصغر على العينة

9-2 SEM تشغيل المجهر الالكتروني الماسح

Operation Of Scanning Electron Microscope

قبل ان يقوم الباحثون بالحصول على الصور من ولنفترض صور عن بعوضة، فان عليهم ان يجهزوا SEM جهاز البعوضة مسبقا لتكون جاهزة كعينة للفحص بالجهاز, لان لا يشبه الميكروسكوب الضوئي، فهو يعمل في الفراغ SEM جهاز ويعتمد على المجالات المغناطيسية فان تحضير العينة قد يكون أمرا معقدا بعض الشيء. يبدأ الباحثون بتنظيف العينة من أي غبار أو عوالق, وبعد أن تتم عملية التنظيف يتم وضع العينة على الحامل إذا كانت العينة موصلة للكهرباء, وفي حالة SEM الخاص بجهاز أن تكون العينة غير موصلة للكهرباء يتم تغطية العينة بمادة موصلة مثل الذهب أو البلاتينيوم من خلال عملية تعرف باسم الطلاء

صورة توضح عنكبوت جهز كعينة لفحص مغطى بطبقة رقيقة من الذهب

المصادر

1. Al-Abdullah, A. I.,(2013),"Design and Fabrication of Electron Gun with Focusing ElectronBeam for the Electron Microscope", Ph.D. Thesis, University of Mosul.
2. Amako, k. and Umeda, A., (1977), " Bacterial surfaces as revealed by the high resolutionscanning electron microscope", J. General Microbiology, vol.98, pp.297-299 .
3. Amelinckx, S.,VanDyck, D.,VanLandugt, J., and Van Tendeloo, G., (1997)," Handbook of Microscopy Applications in Materials Science, Solid-State Physics and Chemistry",VCHVerlagsgesellschaftmbH .
4. Bell, D.C., and Erdman, N., (2013),"Low Voltage Electron Microscopy Principles and Applications", John Wiley and Sons Ltd.
5. Bozzola, J.J. and Russell, L.D.,(1999),"Electron Microscopy", 2nd Edition Copyright byJones and Bartlett Publishers , Inc.
6. Breton, p. J., (1999),"From microns to nanometers : early landmarks on the Science ofSEM imaging", Scanning microns, Vol.13, No. 1, PP. 1-6.
7. Egerton, R. F.,(2005), "Physical Principles of Electron Microscopy An Introduction to TEM. SEM, and AEM", Springer Science +Business Media, Inc.
8. Frank, L., Hovorka, M., Knovalina, I., Mikmekova, S. and Mullerova, I.,(2011),"Very low energy scanning electron microscopy", Nuclear Instrum. And Methods in phy. Research A 645, pp. 46-54.
9. Frosien, J., Plies, E., and Anger, K. (1989), “Compound magnetic and electrostatic lenses for low-voltage applications”, J. Vac. Sci. Technol. B,7 (6) pp. 1874-1877.
10. Gheidari. A. M. and Kruit, P., (2011), "Electron optics of multi-beam scanning electron microscope ", Nuclear Instruments and Methods in physics Research A: Vol. 645,No. 1, pp. 60-67 .
11. Goldstein, J., Newbury, D. E., Joy, D. C., Lyman, C. E., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L. C., and Michael, J. R.,(2003),"Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis ", 3rd Edition ,Kluwer Academic/ Plenum Publishers .New York .
12. Goodhew, P. J., Humphreys, F. J., and Beanland, R.,(2001),"Electron Microscopy and Analysis", 3rd edition, Published by Taylor & Francis New Fetter Lane, London EC4P 4EE.
13. Haguenau, F., Hawkes, P. W., Hutchison, J. L., Satiat, J. B., Simon, G. T., Williams, D. B., (2003), :Key events in the history of electron microscopy ", Microscopy and Microanalysis, Vol. 9, No. 2, pp.96-138 .
14. Haider, M., Braunshausen, G. and Schwan, E.,(1995)," Correction of the spherical aberration of a 200 kV TEM by means of a hexapole-corrector", Optik, Vol. 99, pp. 167-179.

15. Haugstad, G., (2012),"Atomic Force Microscopy Understanding Basic Modes and Advance of Applications", John Wiley and Sons .
16. Hawkes, P. W. and Kasper, E. (1996), "Principle of Electron Optics", Academic Press, London .
17. Hawkes, P. W., (1972), "Electron Optics and Electron Microscopy", Taylor and Francis Ltd., London .
18. Hawkes, P., (2004), " Recent advances in electron Optics and electron microscopy ", Annales de la Fondation Louis de Broglie, Vol. 29, No. 1, pp.837-855 .
19. Hawkes, P.W., and Spence, J.C.H.,(2008),"Science of Microscopy" Springer Science +Business Media LLC.
20. Joy, D. C.,(2010),"Protons, Ions, Electrons and the future of the SEM", Electron Microscopy and Analysis Group Conference 2009 (EMAG 2009) Journal of Physics : Conference Series241, Published under license by IOP Publishing Ltd .