



جامعة الموصل

كلية العلوم

تصميم وتصنيع عدسة مكثفة - شبيئية للمجهر الإلكتروني المنفذ

أطروحة تقدم بها الطالب

ثامر جمعه محمد خليل الخالدي

إلى

مجلس كلية العلوم في جامعة الموصل وهي جزء من متطلبات

الدكتوراه فلسفة في اختصاص

الفيزياء / فيزياء البصريات الالكترونية

بإشراف

الأستاذ الدكتور منى عبد الكريم الخشاب

الخلاصة

يتطلب تصميم العدسات الكهرومغناطيسية تحديد أفضل شكل هندسي لقطب العدسة، وشروط تشغيلها (فولتية التشغيل، ومقدار التهيج، ونمط التشغيل، والخواص البؤرية المطلوبة)، فضلاً عن الشكل والحجم المناسبين للملف. ومن الناحية العملية فإن وصف تصميم العدسة بأنه التصميم الأمثل يتحدد بإمكانية ابقاء الخواص الفضلى للعدسة مقترنة بالنسبة (S/D) بين عرض الفجوة الهوائية للعدسة إلى قطر فتحتها المحورية ضمن القيمة ($0.5 < S/D < 1.5$) التي تناسب نمط التشغيل المطلوب. وتعد طريقة العناصر المتناهية المستخدمة في التصميم بانها التقنية المميزة في تصميم العدسات الكهرومغناطيسية.

تم تصميم عدسة كهرومغناطيسية ثنائية القطب اللامتناظرة لتعمل عند الفولتية التعجيلية المصححة نسبياً ($V_r = 200 \text{ kV}$) والتهيج الثابت ($NI = 10.5 \text{ kA-t}$) بالنمط التشغيلي المكثفة-الشيئية. وذلك من خلال دراسة الشكل الهندسي للتصميم المقترح بمراحل متعددة لكل جزء من اجزائها للحصول على الشكل والابعاد الهندسية المثلى لتلك الاجزاء، والتي تكون معها الخواص البؤرية الشيئية للعدسة في افضل قيمها المتوافقة مع المبادئ النظرية لتصميم العدسة الكهرومغناطيسية المكثفة-الشيئية المستخدمة في المجهر الالكتروني المُنفذ.

تم استقصاء الخواص المثلى للعدسة المقترحة من خلال اجراء دراسات مكثفة في جزئين وبمراحل متعددة، تناول الجزء الاول تصميم الذراع الحديدي للعدسة الكهرومغناطيسية ثنائية القطب اللامتناظرة التي تعمل بنمط المكثفة-الشيئية، إذ تختص المرحلة الاولى منه بدراسة تغيير سمك الذراع الحديدي وأهمية تأثيره في الخواص البؤرية الشيئية على الاداء البصري للعدسات المقترحة. وقد وجد ان هناك سمكا محدداً للذراع اعطى الخواص المثلى للعدسة. أما المرحلة الثانية فتناولت في العديد من الخطوات بتغيير الشكل الهندسي للذراع الحديدي وتأثيره على الخواص البؤرية والأداء البصري للعدسات من خلال استحداث تخرص يتوسط الجهة الداخلية للذراع الحديدي المقابل للقطب الأول للعدسة. وهذا المقترح تم استقصاؤه ضمن هذا البحث لأول مرة في مجال البصريات الالكترونية. وتمت دراسة أفضل عمق للتخرص عند تحديد سمك طرفي الذراع الحديدي للعدسة والموقع المناسب له، ووجد افضل ارتفاع لنقطة عمق للتخرص، كما تم تحديد زاوية ميل الجهة الداخلية لطرفي الذراع الحديدي عند النقطة المثلى لعمق التخرص والتي حققت افضل الخواص الشيئية. وتناولت المرحلة الثالثة دراسة تأثير تغيير شكل القطب الثاني على الخواص البؤرية الشيئية للعدسات المقترحة، وذلك بتغيير زاوية ارتفاع وجه القطب الثاني، إذ تم ايجاد افضل زاوية لارتفاع وجه القطب، والقيمة الفضلى لنصف قطره، وافضل عرض للفجوة الهوائية للعدسة عند نصف قطر ثابت لقطبها الأول، فضلاً عن دراسة تأثير الخواص البؤرية الشيئية للعدسات بتغيير نصف قطر القطب الاول عند تحديد شكل القطب الثاني للعدسة المقترحة، ووجد القيمة الفضلى لنصف قطر

Abstract

Electromagnetic lens design requires determining preferable geometrical shape of polepiece of the lens and its operating conditions (operating voltage, excitation value, operating mode, and the required focal properties), in addition to the shape and proportional volume of the coils. In the experimental aspect, the description of the lens design as optimal design, should be determined by keeping the optimum value of the lens properties coincide with the ratio(S/D) of the air gap distance and the bore diameter in the range of ($0.5 < S/D < 1.5$) which be in agreement with the required mode of operation. Finite element method which is used in designing the lens, regards as an excellent technique used for designing electromagnetic lens .

In this thesis a condenser-objective lens for TEM is designed and fabricated, to operate at ($V_r = 200$ kV) and fixed excitation ($NI = 10.5$ kA-t). By studying its geometrical shape in several stages to get optimum shape and geometrical dimensions with favorable value of objective optical properties of all parts of the designed lens, that accord with theoretical principles for designing condenser-objective lens in the TEM.

The optimum properties of lens designed gained by profound studies in two main parts with several stages: The first part deals with designing iron shroud shape for an asymmetric double polepiece electromagnetic lens, which operates in condenser-objective mode. The first stage studies the change of the thickness of iron shroud and the importance effect in the focal properties on the optical performance for suggested lenses. It is found that a determined thickness has an optimal value that gives optimum properties of the lens. The second stage, in the several steps, deals with the change in geometrical shape of iron shroud and its effect on the focal properties and optical performance of the designed lenses by putting a west point in the middle of the internal side of the iron shroud, facing the first polepiece of the lens. This suggestion is regarded as a first treatment in the aspect of electron optics, whereas the study of the optimum depth of the west point is gained to determine the thickness of both side of the iron shroud and the proportion position of the west point. which is found that the optimum value of west point depth, as well as the optimum angle of internal side of iron shroud which gives optimum focal properties. The third stage of part one deals with the effect of changing the shape of the second polepiece by changing the angle of polepiece snout, it found that a best angle of second polepiece snout has a value which gives optimum focal properties, and its optimum radius, so that the optimum air gap distance can be determined at affixed radius of the first polepiece. In addition to study the effect of the focal properties by changing the first polepiece radius with determined shape of second polepiece, which its optimum value is have optimum focal properties and agreement with require operating voltage for condenser-objective mode at infinite magnification condition. then the results are scaled at the selected relativistic voltage ($V_r = 200$ kV) at the fixed excitation ($NI = 10.5$ kA-t).

The second main part constructed of two stages, the first one concerned with studying of the effect of the ratio changing between cross sectional area of the coils of the lens, which found that a best ratio, and the effect of the distance separating

between the coils on the focal properties ,which found that an optimum distance. The second stage treats the operating of the suggested lens at different excitation values to determine the optimum one, for this mode of operation, and the range of operating voltages to determine the optimum voltage.

The optimum lens fabricated as well the cooling system of the designed electromagnetic lens.

The experimental measurements were carried out for calculating magnetic field value in the designed and fabricated lens and its focal properties, as well as the calculating of efficiency of the cooling system was achieved.

The theoretical and experimental results were discussed, and compared with the results of literature, it found that there are some a good accord among them.

**University of Mosul
College of Science**



**The Design and Fabrication of a Condenser _
Objective Lens for Transmission Electron
Microscope**

Ph.D. Thesis Submitted By

Thamer Jomah Mohammad Kh. Al-Khaldey

To

**Council of the College of Sciences University of Mosul In Partial
Fulfillment of the Requirements for the Degree of
DOCTOR OF PHILOSOPHY**

In

Physics / Electron Optics Physics

Supervised by

Prof. Dr. Muna A. K. Al-Khashab