

تأثيرات شحنة الفراغ في التصميم النظري لقاذف الكتروني باستخدام عدسة مغمورة لحالتي التكبير المحدد العالي والواطي

أ.م.د. سمير خضر ياسين* م.م. انتهاء احمد محمد** م.م. ندى عبد الفتاح محمد***

تاريخ قبول النشر ٢٥/٦/٢٠٠٧

الخلاصة

تم في هذا البحث اجراء دراسة نظرية باستخدام الحاسوب لتصميم قاذف الكتروني باستخدام عدسة مغمورة ثنائية الاقطاب لحالة التكبير المحدد مع الاخذ بنظر الاعتبار تأثيرات شحنة الفراغ على تصميم القاذف. تم التوصل لاختيار الشكل المناسب لاقطاب هذه العدسة من خلال دراسة توزيع الجهد المحوري من حل معادلة بوزان وباستخدام طريقة العناصر المنتهية (Finite element methode) ومن حل معادلة المسار المحورية اجريت دراسة للخواص البصرية لهذه العدسة. كما اجريت دراسة لمعرفة تأثيرات تيار الحزمة للقاذف الالكتروني في قيم الزيوغ الكروية واللونية للتوصل لايجاد افضل قيم للتيار والتي تعطي قيم زيوغ مقبولة وقليلة بوجود شحنة الفراغ.

المقدمة

أن أي مجال الكتروستاتيكي متماثل محورياً هو عدسة الكتروستاتيكية وان المجالات الالكتروستاتيكية تنتج من مجموعة من الاقطاب ذات جهود ملائمة وان هذه العدسات تستخدم لتبئير الحزم الالكترونية.[1]

لقد استخدمت تقنية الحزم الالكترونية في التطبيقات العملية منذ القدم حيث بدأت في مطلع القرن التاسع عشر ويُعتبر القاذف الالكتروني المصدر الرئيسي للحزم الالكترونية والجزء المهم لاي نظام بصري الكتروني.[2]

لقد شهد عام ١٩١١ ولادة اولى البحوث المتعلقة بشحنة الفراغ اذ وضع العالم Child دراسة توضح تأثير شحنة الفراغ في تحديد تيار القاذف.[3]

ولوحظ في بداية الخمسينات الانحراف الذي يحصل في تيار القاذف بالاستناد الى نظرية Flower-Nordhin من قبل العالمين Dyke and Cowerkers نتيجة لكثافة التيار العالي حيث وضحا ان الانحراف الذي يحصل في تيار القاذف هو نتيجة تأثير شحنة الفراغ.[4]

واستمرت دراسات عديدة بعد ذلك حيث اجرى العالم Qasseer عام ١٩٩٨ دراسة حول تأثير شحنة الفراغ في تصميم عدسة كهروستاتيكية اذ اخذا عدستين وعلدهما عدسة واحدة.

وفي عام ٢٠٠٤ تم تصنيع قاذف التتكستن باستخدام باعث مصنع من مادة [5].LaB₆

تم حساب توزيع الجهد المحوري V(z) لهذه العدسة من حل معادلة بوزان باستخدام طريقة العناصر المنتهية Finite Element Method.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = \frac{-\rho}{\epsilon_0} \dots\dots\dots(1)$$

حيث ان ρ هي شحنة الفراغ. لحساب مسار الحزمة الالكترونية تحت تأثير شحنة الفراغ لهذه العدسة تم حل معادلة الشعاع المحوري المبينة ادناه.[7]

$$2r''V' + r'V' + r\left(\frac{V''}{2}\right) = \frac{I}{2\pi\epsilon_0(2\eta V)^{1/2}R} \dots\dots\dots(2)$$

حيث R تمثل المسافة على المحور، η تمثل النسبة بين الشحنة الى الكتلة (q/m) ا يمثل تيار القاذف ويقاس بوحدة الامبير.

ان الزيوغ الكروي واللوني هما من اهم العيوب المرافقه لاي نظام بصري يحتوي على عدسات الكتروستاتيكية حيث تم ايجادهما ودراستهما من المعادلات التالية:[8]

* رئيس قسم الحاسبات/ كلية التربية للبنات/ جامعة بغداد.

** قسم الفيزياء/كلية التربية ابن الهيثم/جامعة بغداد.

*** قسم الفيزياء/كلية العلوم للبنات/جامعة بغداد.

$$C_s = \frac{1}{16V_o^{1/2} r_o^{4'}} \int_{Z_o}^{Z_i} \left(\left\{ \frac{5}{4} \left(\frac{V''}{V} \right)^2 + \frac{5}{24} \left(\frac{V}{V} \right)^4 \right\} r^4 + \frac{14}{3} \left(\frac{V}{V} \right)^3 r'r^3 - \frac{3}{2} \left(\frac{V'}{V} \right)^2 r'^2 r^2 \right) V^{1/2} dz \dots (3)$$

$$C_c = \frac{V^{1/2}}{r'^2} \int_{Z_o}^{Z_i} \left(\frac{V'}{2V} r'r + \frac{V''}{4V} r^2 \right) V^{-1/2} dZ \dots (4)$$

حيث ان:
 J_c تمثل كثافة التيار المحدد بشحنة الفراغ
 ووحدتها A/cm.
 V_a يمثل الجهد على الانود ووحدته volt.
 d المسافة بين الاقطاب.

- تيار القاذف الالكتروني: [7]
 $I = \pi r^2 J \dots (7)$
- الاضاءة او السطوعية تحسب من
 المعادلة: [7]

$$B = \frac{I}{(\pi r \gamma)^2} \dots (8)$$

- γ تمثل زاوية نصف قطرية.
- الانتشارية والتي تمثل النسبة بين تيار
 الحزمة الى فولتية تعجيل الانود مرفوع
 للاس ٣/٢ تعطى بالعلاقة التالية: [9]
 $P = I/V^{3/2} \dots (9)$

اما قيم التكبير فتم حسابه من المعادلة التالية: [8]

$$M = \frac{\alpha_o}{\alpha_i} \sqrt{\frac{v_o}{v_i}} \dots (5)$$

اذ ان:
 α_o, α_i هما نقاط تجمع الزوايا على المسار.
 V_i, V_o تمثلان الجهد لمستوي الجسم و الصورة
 على التوالي.

بعد دراسة خواص العدسة يتم حساب
 خواص القاذف الالكتروني من كثافة التيار، تيار
 القاذف، اضاءة والانتشارية من المعادلات التالية:

- كثافة التيار المحدد بشحنة الفراغ والتي
 تمثل كمية التيار المار بوحد المساحة من
 المعادلة التالية: [7]

$$J_c = 2.335 * 10^{-6} V_a^{3/2} / d^2 \dots (6)$$

النتائج والمناقشة

البحث يبين تأثير شحنة الفراغ على عدسة ثنائية القطب بطول 14mm تعمل في ظرف التكبير المحدد (لحالي التكبير الواطئ والعالي).

الشكل (١) يبين توزيع الجهد المحوري لهذه العدسة من خلال حل معادلة بوزان باستخدام طريقة العناصر المتناهية (FEM) حيث نلاحظ بان الجهد متماثل في جانبي الجسم والصورة أي ان $V(z_i)=V(z_o)$.

الشكل (٢) يبين العلاقة بين معامل الزيغ اللوني والكروي النسبي مع التيار عند اخذ قيمة ثابتة للمساحة $S=1 \text{ mm}^2$ حيث نلاحظ زيادة قيم الزيغ الكروية واللونية بزيادة التيار وذلك بسبب تأثير شحنة الفراغ عليها ويظهر التأثير واضح في القيم العالية للتيار فلقد تم التوصل الى قيم مقبولة للزيغ عند $I=10^{-4} \text{ A}$.

• حالة التكبير الواطئ Low magnification condition

يتم دراسة خواص العدسة في حالة التكبير الواطئ عند ثبوت موقع الجسم $Z_o = -1000 \text{ mm}$.

الشكل (٣) يبين مسار الحزمة الالكترونية والذي يبدأ من جانب الجسم Z_o وينتهي بجانب الصورة Z_i .

الشكل (٤) يبين العلاقة بين معاملات الزيغ الكروية واللونية نسبة الى التكبير كدالة لنسب الجهود المعجلة V_i/V_o حيث نلاحظ ان قيمة C_{si}/M تصل الى ٣٦ ٣ عند نسبة الجهد ١٠ وبزيادة نسب الجهود الى ٣٠ تقل الزيغ فتصبح ١، ١، اما معاملات الزيغ اللونية C_{ci}/M فانها عند نسبة الجهد ١٠ تكون ٦٣ ٠ وتقل لتصبح ٢٠ ٠ عند نسبة الجهد ٣٠ وهذا يدل على ان معاملات الزيغ نسبة الى التكبير تقل بزيادة نسبة الجهود.

يبين الشكل (٥) العلاقة بين معاملات الزيغ الكروية واللونية في جانب الصورة نسبة الى طول العدسة كدالة لنسب الجهود المعجلة حيث نلاحظ انخفاض قيم الزيغ بزيادة نسب الجهود.

• حالة التكبير العالي High magnification condition

يتم دراسة خواص العدسة في حالة التكبير الواطئ عند ثبوت موقع الجسم $Z_i = 1000 \text{ mm}$.

الشكل (٦) يبين مسار الحزمة الالكترونية والتي تم دراستها من حل معادلة الشعاع المحوري (معادلة ٢) والذي يبدأ من جانب الصورة Z_i وينتهي بجانب الجسم Z_o .

الشكل (٧) يبين العلاقة بين معاملات الزيغ الكروية واللونية نسبة الى التكبير كدالة

لنسب الجهود المعجلة V_i/V_o فعند نسبة الجهد ١٠ تكون معاملات الزيغ الكروية ٠ ٠ وتقل معاملات الزيغ الكروية واللونية بزيادة نسب الجهود الى ٣٠ حيث تصل معاملات الزيغ الكروية الى ٠ ٠٠٥ اما الزيغ اللونية فتصل الى ٠ ٠٠١٥.

يبين الشكل (٨) العلاقة بين معاملات الزيغ الكروية واللونية نسبة الى طول العدسة كدالة لنسب الجهود المعجلة حيث نلاحظ انخفاض قيم الزيغ بزيادة نسب الجهود.

ان خواص القاذف الالكترونية للعدسة الثنائية القطب من كثافة تيار وتيار واضاءة وانتشارية والتي تم حسابها باستخدام المعادلات ٨،٧،٦،٩ على التوالي كما يلي:

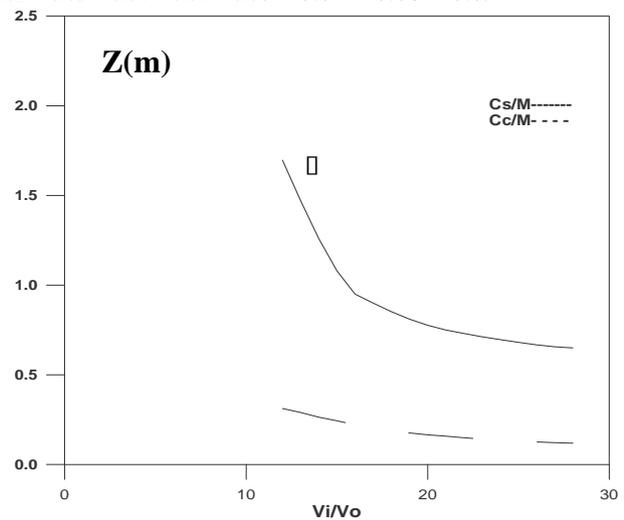
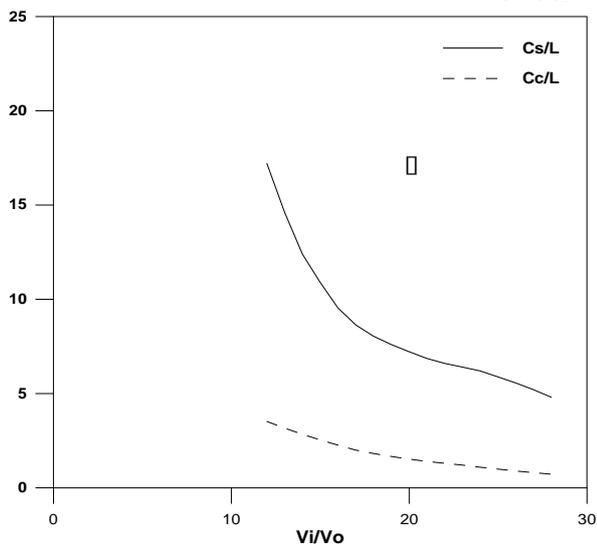
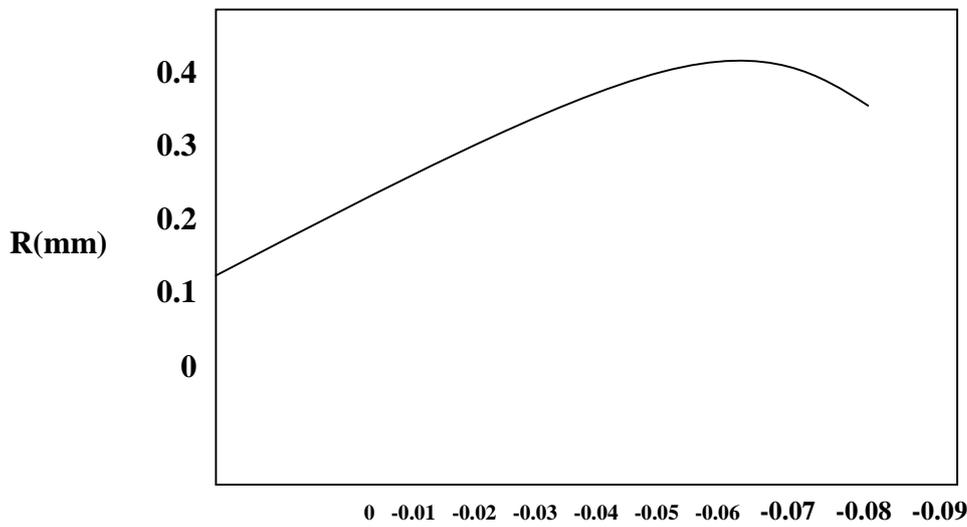
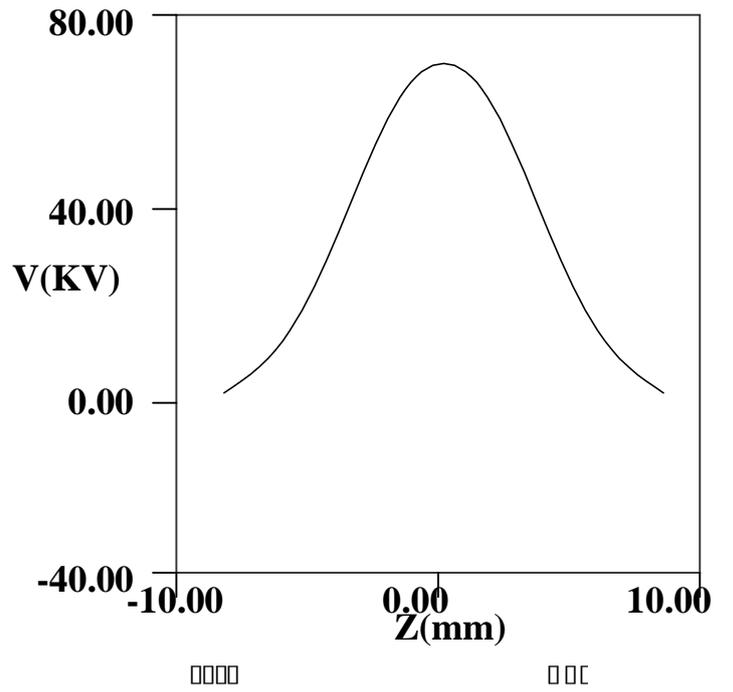
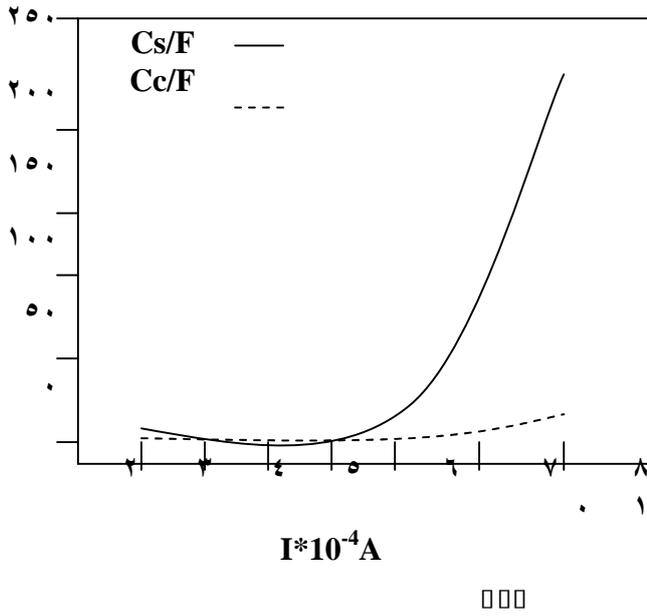
- كثافة التيار $J=0.2 \cdot 10^{10} \text{ A/m}^2$
- تيار القاذف $I=10^{-4} \text{ A}$
- الاضاءة $B=0.4 \cdot 10^{16} \text{ A/m}^2$
- الانتشارية $P=1 \cdot 10^{-7} \text{ A/V}^{3/2}$

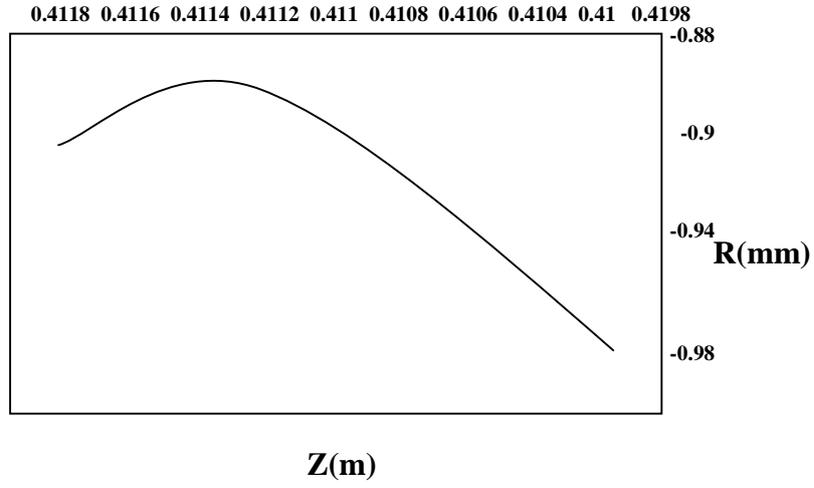
الاستنتاجات

١. وجد انه بزيادة قيم التيار تزداد قيم معاملات الزيوع الكروية واللونية النسبية وعند اعلى قيمة للتيار $I=10^{-4}A$ تم التوصل الى قيم مقبولة للزيوع الكروية $Cs/F=2.76$ والزيوع اللونية النسبية $Cc/F=0.938$.
 ٢. في حالة التكبير المحدد (التكبير العالي والواطئ) فان قيم معاملات الزيوع الكروية واللونية نسبة الى التكبير تقل بزيادة نسب الجهود المعجلة.
 ٣. لوحظ ان معاملات الزيوع الكروية واللونية نسبة الى طول العدسة تقل بزيادة نسب الجهود المعجلة، فعند نسبة الجهد ١٠ تكون $Cs/L=16.9, Cc/L=3.52$ وعند نسبة الجهد ٣٠ تكون $Cs/L=3.44, Cc/L=0.64$.
- لوحظ ان العمل الحالي اعطي نتائج جيدة مقارنة مع الاعمال المنشورة سابقا حيث تم اجراء مقارنة مع نتائج الباحث Munro والمنشورة عام ١٩٧٥ في حالة عدم وجود شحنة فراغ ويعمل الباحث انتهاء عام ٢٠٠٢ وبعدم وجود شحنة فراغ ايضاً. ومن الجدير بالذكر انه لم نلاحظ اعمال منشورة لتصميم قاذف بوجود شحنة الفراغ وكانت نتائج المقارنة كما يلي:
- عند ثبوت الصورة عند المسافة $Z_i=1000mm$ وعند نسبة الجهود $V_i/V_o=30$ كانت قيم الزيوع الكروية واللونية نسبة الى التكبير
- للعام 1975 Munro $C_{so}/M=0.14, C_{co}/M=0.078$
 - للباحثة انتهاء $8.3 \times 10^{-7}, C_{co}/M=9 \times 10^{-7}$
 - العمل الحالي $C_{so}/M=0.0033, C_{co}/M=0.00058$

المصادر

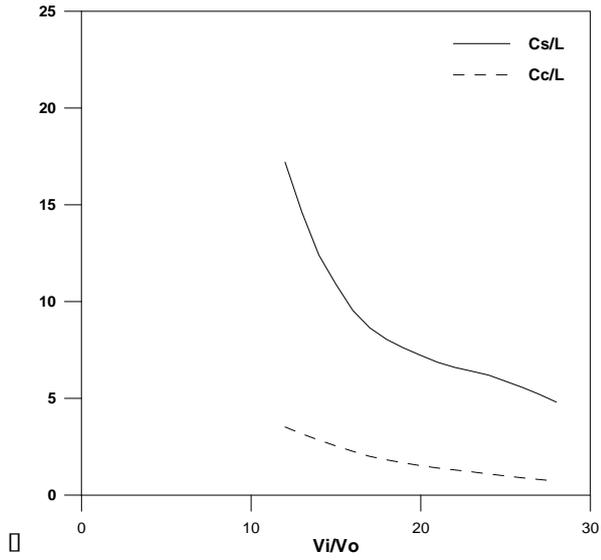
1. Sziligy, M. (1988) Electron and ion optics " plenum press" New York
2. Bakish, R. (1962) Introduction to electron beam technology " Inc. New York" London
- 3.
4. El-Gomati, M. M., Prutton, M. and Browning, R. (1985) An all-electrostatic small beam, diameter, high probe current field emission electron probe. J.Phys.E: Sci. Instrum., 18,32-39
5. www. Electron Microscopy the electron gun 2004. Hanspeter Niederstrasser/ Webmaster Last modified: March 24,2004
6. El-Kareh, A. B. and El-Kareh, J.C.J. (1970) Electron beams, lenses, and optics "Academic Press" USA
7. Kirestein, P. T., Gordon, S.K. and Willam, E. W. (1967) Space-Charge Flow "Mc Graw – Hill "New York , London
8. Klempere, O. and Barnett, M. E. (1971) Electron optics "University of Cambridge" UK
9. Munro, E. (1975) A set of computer programs for calculating the properties of electron lenses. Department of Engineering Report CUED/B-Elect TR45, University of Cambridge, UK
10. Intehaa A.M Theoretical design of an electron gun lenses using numerical methods Ph.M. Thesis education for women university, Baghdad, Iraq.



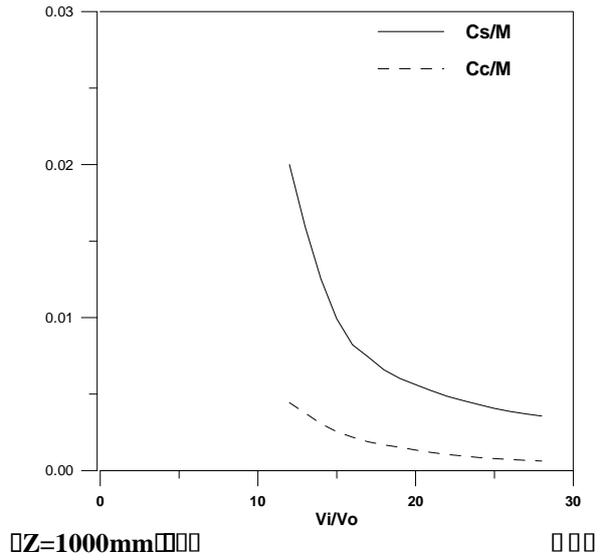


□

□ □()



$Z=1000mm$



$Z=1000mm$

Space- Charge effect in the Design of electron gun using immersion lens under high and low finite magnification condition.

Asst. Prof. Dr.Samir Khder Yassin Asst. Inst. Intehaa Ahmed Mohammed

Head of the Computer science
Collage of
Department- Collage of Education
for Women- Baghdad University

Physics Department-
Education Ibn Al-haitham
Baghdad University

Asst. Inst. Nada Abdulfattah Mohammed

Physics Department- Collage of Science
for Women- Baghdad University

Abstract

A computerized investigation has been carried out on the design of an electron gun taken into consideration space-charge effect under high and low finite magnification condition.

The Finite element method (FEM) used in the solution of Poisson's equation for determine the axial potential distribution of the immersion lens, paraxial ray equation was solved and the optical properties for this lens are calculated.

The work has been focused on the effect of current beam on the spherical and chromatic aberration and to find the best value of the current which gives accepted value of aberration in the present of space-charge.