

تصميم عدسة كهروستاتيكية مغمورة تعمل تحت ظرف التكبير الصفري

سمير خضر ياسين*، انتهاء احمد محمد**، ندى عبد الفتاح محمد***

تاريخ قبول النشر 2007/5/28

الخلاصة

تعتبر الطريقة العكسية من الطرق المهمة في تصميم العدسات الكهروستاتيكية والتي اعتمدت في هذا البحث بأستخدام تقنية جديدة تعتمد على تحديد معادلة مناسبة للجهد المحوري على شكل متعددة حدود من الدرجة الثالثة ومن ثم حل معادلة الشعاع المحوري لأيجاد مسار الجسيمات والذي يحقق معادلة الجهد المفروضة. في هذا البحث تم تصميم عدسة كهروستاتيكية مغمورة تعمل بنمط التكبير الصفري حيث تم الحصول على شكل الأقطاب للعدسة ببعدين بأستخدام حلول معادلة لابلاس. وقد بينت نتائج البحث قيم قليلة للزيغ الكروي و اللوني والتي تعطي مؤشراً على كفاءة تصميم العدسة.

للحصول على الخواص البصرية للعدسة تم حل معادلة الشعاع المحوري الآتية:

$$\frac{\partial^2 r}{\partial z^2} + \frac{U'(z)}{2U(z)} \frac{\partial r}{\partial z} + \frac{U''(z)}{4U(z)} r = 0 \quad (2)$$

ان المعادلة (2) تصف مسار الجسيمات المشحونة في المجال الكهروستاتيكي المتمثل دورانياً وهي معادلة تفاضلية متجانسة خطية من الدرجة الثانية والتي يمكن استعمالها لكل أنواع الجسيمات المشحونة وذلك لأن الكمية (Q/m) لا تظهر في هذه المعادلة (4) وهذا يعني ان الجسيمات ذات الشحنة المختلفة تبرز في نفس النقطة ولكنها تصل في أوقات مختلفة (5). كذلك تمتاز المعادلة (2) بأنها متجانسة بالنسبة للجهد (U) لذلك فإن زيادة الجهد او نقصانه في كل نقاط المجال سوف لن يغير من المسار وتكون هذه المعادلة متجانسة بالنسبة لـ r, z ، وهذا يعني ان أية زيادة في ابعاد النظام باكماله ينتج عنها زيادة مماثلة في ابعاد المسار، أي ان شكل المعادلة لن يتغير (4).

يتم حساب الخواص البصرية للعدسة بعد حل معادلة الشعاع المحوري بأستخدام طريقة رانج - كتنا من الدرجة السادسة ومعرفة توزيع الجهد المحوري ومشتقاته الأولى والثانية ولأيجاد قيمة معاملي الزيغ الكروي C_s والزيغ اللوني C_c تم استخدام المعادلات الآتية (6):

$$C_{s0} = \frac{U^{-1/2}}{16r_0^4} \int_{z_0}^{z_i} \left[\frac{5}{4} \left(\frac{U''(z)}{U(z)} \right)^2 + \frac{5}{24} \left(\frac{U'(z)}{U(z)} \right)^4 \right] r^4(z) + \frac{14}{3} \left(\frac{U'(z)}{U(z)} \right)^3 r'(z)r^3(z) - \frac{3}{2} \left(\frac{U'(z)}{U(z)} \right)^2 r'^2(z)r^2(z) \} U^{1/2}(z) dz \quad (3)$$

$$C_{c0} = \frac{U^{1/2}(z_0)}{r_0^2} \int_{z_0}^{z_i} \left[\frac{1}{2} \frac{U'(z)}{U(z)} r'(z)r(z) + \frac{U''(z)}{4U(z)} r^2 \right] U^{-1/2}(z) dz \quad (4)$$

المقدمة:

البصريات الالكترونية هي فرع من فروع الفيزياء الإلكترونية يتعامل مع حركة الجسيمات المشحونة (الكترونات و ايونات) في المجالين الكهربائي والمغناطيسي (1) يعد موضوع البصريات الالكترونية موضوعاً حديثاً نسبياً، حيث ان اول من اثبت امكانية تكوين صورة بوساطه الاكترونات هو H. Busch عام 1926 (2)، يمكن القول ان أي مجال كهروستاتيكي متمثل محورياً يمثل عدسة كهروستاتيكية حيث ان المجال الكهروستاتيكي ينتج بوساطة نظام من الاقطاب وان لكل قطب جهداً ملائماً وبذلك تكون العدسة الكهروستاتيكية نظاماً ذا قطب متمثل محورياً. تعتبر العدسات الكهروستاتيكية المغمورة والتي صمم احد انواعها في هذا البحث من انواع العدسات المهمة في تطبيقات البصريات الالكترونية والتي تمتاز بان لها جهدين ثابتين ومختلفين عن بعضهما وهي اما ان تكون عدسة معجلة او مبطئة (3).

النظرية:

تم استخدام متعددة الحدود من الدرجة الثالثة لتمثل للعدسة المغمورة على $U(z)$ توزيع الجهد المحوري والتي تحقق الشروط الابتدائية z المحور البصري الآتية:-

$$U(0) = A \quad U'(L/2) = S \quad U(L) = B \quad U'(0) = 0$$

بعد تعويض هذه الشروط في متعددة الحدود يمكن الحصول على دالة تعبر عن توزيع الجهد المحوري للعدسة المغمورة الآتية:-

$$U(z) = A + \left(\frac{-3(B-A) + 4SL}{L^2} \right) z^2 + \left(\frac{4(B-A) - 4SL}{L^3} \right) z^3 \dots (1)$$

حيث ان (z) هو المحور البصري للعدسة، L هو طول العدسة المؤثر، A هو قيمة الجهد للقطب الاول للعدسة، B هو قيمة الجهد للقطب الثاني للعدسة، S هو قيمة المجال المحوري الاعظم (E_{max}) عند نقطة الانقلاب (أي في منتصف طول العدسة).

* قسم الحاسبات كلية التربية للبنات - جامعة بغداد

** قسم الفيزياء - كلية التربية - ابن الهيثم - جامعة بغداد

*** قسم الفيزياء - كلية العلوم للبنات - جامعة بغداد

يلاحظ من الشكل ان قرص الزيغ يقل كلما ازدادت قيمة S كما ان التطابق بين dc و dt يدل على ان dc هو الغالب وهذا ناتج عن كون (α) المأخوذة صغيرة جداً وبالتالي فإن هذا يؤدي الى اهمال قيم الزيغ الكروي في قيمة dt. والجدول (3) يوضح ملخصاً لأفضل النتائج لقيم ds و dc ولقيم S.

يمكن تعيين شكل الأقطاب للعدسة المغمورة باستخدام المتسلسلة الآسية المعادلة (8) ان شكل الأقطاب للعدسة الكهروستاتيكية المغمورة والتي تعمل تحت ظروف التكبير الصغرى ولأفضل الخواص البصرية عند S=25. حيث تم رسمها ببعدين كما هو واضح من الشكل (7) يلاحظ من الشكل ارتفاع الأقطاب يساوي 0.63 والمسافة بين الأقطاب تساوي 0.38 من طول العدسة.

الاستنتاجات:

1. في العدسة المغمورة ان العامل المؤثر في تصميم العدسة المغمورة هو المجال الكهروستاتيكي الاعظم Emax في نقطة الانقلاب.
2. يقل الزيغ للعدسة المغمورة بزيادة Emax.
3. ان افضل قيم للزيغ عندما S=25 و Vi/Vo=3 وقد وجد ان معامل الزيغ الكروي Cs/fi = 0.49 وان معامل الزيغ اللوني Cc/fi=0.71 اما قرص الزيغ الكروي واللوني ds = 0.004 μm و dc = 0.096 μm .

المصادر:

- 1- Zhigarev A., (1975), "Electron optics and electronbeam devices", Mir Publisher: Moscow
- 2- Septier A., (1980), "Applied charged particles optics", Part A (Academic Press: New York).
- 3- Szilagy M., (1988), "Electron and ion optics", (Plenum press: New York)
- 4- Paszkowski B., (1968), "Electron Optics", (Iliffe Books: London).
- 5- EL-Kareh A. B. and EL-Kareh J.C. J., (1970), "Electron Beam, Lenses and Optics", Vol.1 (Academic Press: New York and London).
- 6- Kiss L., (1988), "Computerized investigation of electrostatic lens potential distribution", 12th IMACS World Congress, ed. R. Vicheretsky, Paris.
- 7- Rempfer G.F., Fyfield M.S., and Griffith O.H., (1998), "Lenses for electron microscopy and micro analysis: Shadowgraph method of determining focal properties and aberration coefficients", Microsc. Microanal., 4, 34-49

حيث ان Cs_o و Cc_o يمثلان معاملي الزيغ الكروي واللوني في جانب الجسم على التوالي. ويعبر عن معامل الزيغ الكروي واللوني في جانب الصورة Cs_i و Cc_i باستخدام العلاقتين السابقتين باستبدال $U^{1/2}(z_o)$ و $r_o'^2$ و $r_o'^4$ بـ $U^{1/2}(z_i)$ و $r_i'^2$ و $r_i'^4$ على الترتيب. بحسب نصف قطر قرص الزيغ الكروي ds ونصف قطر قرص الزيغ اللوني dc والكلية dt من المعادلات الآتية:

$$ds = Cs\alpha^3 \quad (5)$$

$$dc = Cca \frac{\Delta U}{U} \quad (6)$$

$$dt^2 = ds^2 + dc^2 \quad (7)$$

α هي نصف الزاوية المقبولة و $\Delta U/U$ هي التغير النسبي لطاقة حزمة الألكترونات المنتشرة (7).

بعد ان تم ايجاد توزيع الجهد المحوري ومشتقته الاولى والثانية يمكن تعيين شكل القطب للعدسة الكهروستاتيكية باستخدام الحل التسلسلي لمعادلة لابلاس الآتية (3)

$$U(r, z) = U(z) - U''(z) \frac{r^2}{4} \quad (8)$$

النتائج والمناقشة:

تم حساب توزيع الجهد الكهروستاتيكي المحوري U(z) ومشتقته الاولى E(z) لعدسة مغمورة استناداً الى المعادلة رقم (1) وبأخذ قيم (S) تساوي 19 و 25، الشكلين (1 و 2) يمثل توزيع الجهد المحوري حيث يلاحظ ان توزيع الجهد المحوري يملك نقطة انقلاب واحدة عندما يصل المجال المحوري لأعظم قيمة (Emax) وهذا يعني ان العدسة تتكون من قطبين مختلفي الجهد. ان المجال في جانبي الجسم والصورة يساوي صفر لذلك فإن العدسة هي عدسة مغمورة، كما يلاحظ من الشكلين (1 و 2) انه بزيادة قيمة (S) تزداد قيمة الجهد في القطب الثاني (B) أي تزداد نسبة الجهد Vi/Vo. حيث ان Vi/Vo تمثل الجهد في جانب الصورة، وان Vo تمثل الجهد في جانب الجسم.

ان معامل الزيغ الكروي واللوني Cs/fi و Cc/fi موضحة في الشكلين (3 و 4) كدالة لنسبة الجهد Vi/Vo لقيمتي S. حيث ان Cs/fi و Cc/fi تزداد بزيادة نسبة الجهد Vi/Vo وتقل بزيادة S كما هو واضح من الجدول (1).

ان الجدول (2) يمثل مقارنة بسيطة بين الزيغ اللوني والكروي النسبي مع نسبة الجهد للعمل الحالي عندما S=25 مع اعمال باحثين سابقين. الشكلين (5 و 6) يوضحان العلاقة بين قرص الزيغ الكروي ds و اللوني dc والكلية dt ونسبة الجهد (Vi/Vo) عندما $\alpha=2\text{mrad}$ والطاقة المنتشرة $\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{30000}$ عندما S تساوي 19 و 25، (9)

- 8- Harting E. and Read F.H., (1976), "Electrostatic lenses", (Elsevier: oxford & New York).
- 9- Ohiwa H., Blackwell R.J., and Siegel B.M., (1981), "Design of an electrostatic ion optical system for microfabrication with 100 Å resolution", J. Vac. Sci. Technol., 19, 1074-1076.

جدول رقم (1) يبين تغيير Cs/fi و Cc/fi مع نسبة الجهد Vi/Vo و S

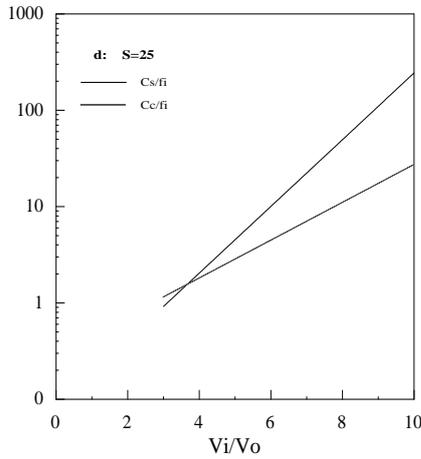
Vi/Vo	S (V/mm)	Cs/fi	Cc/fi
3	19	2.4	1.7
3	25	0.49	0.71

جدول (2) يبين مقارنة بين نتائج العمل الحالي والبحوث السابقة

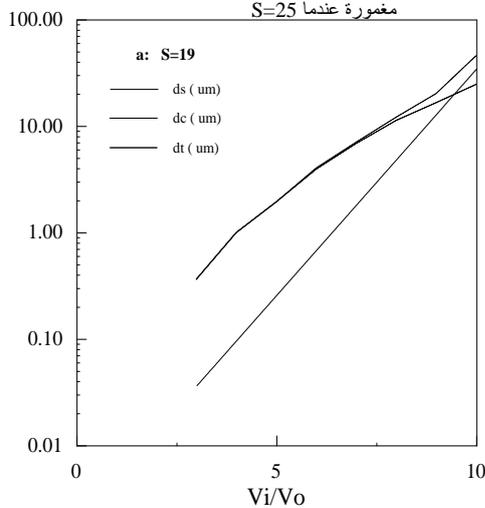
References	Vi/Vo	Cs/fi	Cc/fi
العمل الحالي	5	6.3	3.5
Munro , 1975	5	24	3.5
Harting & Read, 1976	5	19	1.4

جدول (3) نتائج قيم ds و dc لقيم الأربعة

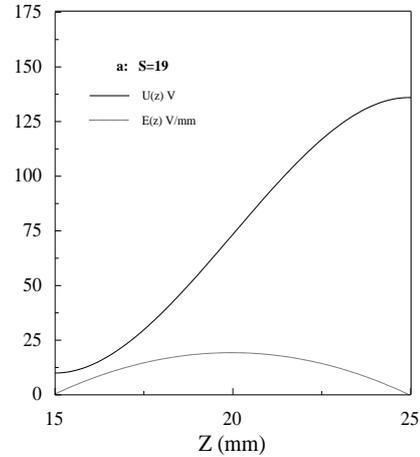
Vi/Vo	S (V/mm)	ds (μm)	dc (μm)
3	19	0.03	0.36
3	25	0.004	0.096



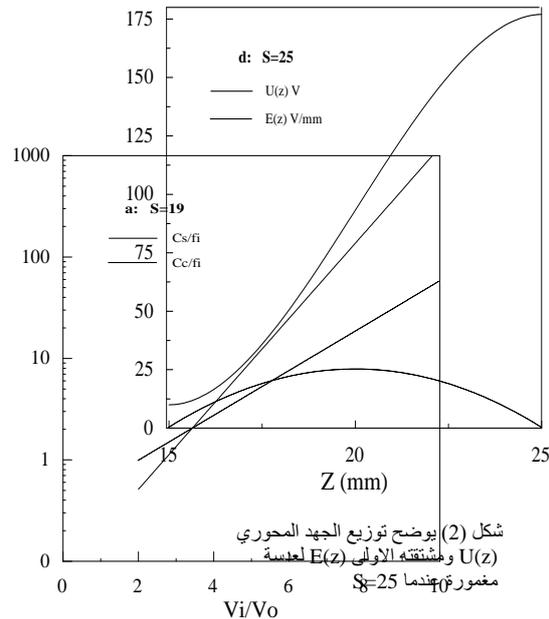
شكل (4) يوضح تغيير Cs/fi و Cc/fi مع نسبة الجهد Vi/Vo لعدسة مغمورة عندما $S=25$



شكل (5) يوضح العلاقة بين قرص الزيغ الكروي، اللوني، الكلي dt, dc, ds ونسبة الجهد عندما $S=19$

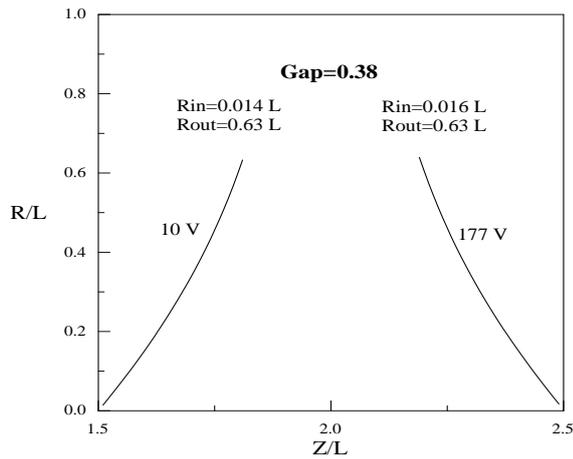


شكل (1) يوضح توزيع الجهد المحوري $U(z)$ ومشتقته الأولى $E(z)$ لعدسة مغمورة عندما $S=19$

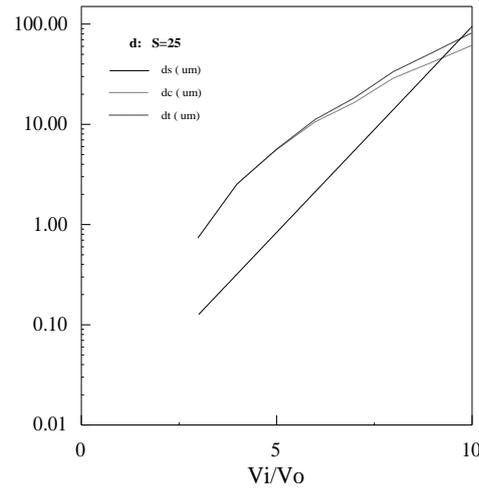


شكل (2) يوضح توزيع الجهد المحوري $U(z)$ ومشتقته الأولى $E(z)$ لعدسة مغمورة عندما $S=25$

شكل (3) يوضح تغيير Cs/fi و Cc/fi مع نسبة الجهد Vi/Vo لعدسة مغمورة عندما $S=19$



شكل (7) يبين شكل الأقطاب للعدسة الكهروستاتيكية
المغمورة بأفضل الخواص البصرية



شكل (6) يوضح العلاقة بين قرص الزيت
الكروي ، اللوني ، الكلي dt, dc, ds
ونسبة الجهد عندما $S=25$

Design of Immersion Electrostatic Lens Operated under Zero Magnification Condition

*S. Kh. Yassin**, *I. A. Mohammed***, *N. A. Mohammed****

*Computer department –College of education for women–Baghdad University

** Physics department – College of education Ibn AL-Haithem – Baghdad University

***Physics department- College of Science for women-Baghdad University

Abstract:

The inverse problem is important method in the design of electrostatic lenses which is used in this work, with new technique by suggesting an axial electrostatic potential distribution using polynomial functions of the third order. The paraxial-ray equation is solved to obtain the trajectory of particles that satisfy the suggested potential function. In this work design of immersion electrostatic lens operated under zero magnification condition.

The electrode shape of the electrostatic lens was determined from the solution of Laplace equation and plotted in two dimensions. The results showed low values of spherical and chromatic aberrations, which are considered as good criteria for good design.