JOURNAL OF KUFA – PHYSICS Vol.1 No.2
A Special Issue for the 2nd Conference of Pure & Applied Sciences (11-12) March 2009

حساب منتوج الترذيذ لمنظومة بلازما افتراضية باستعمال أنموذج ديناميكية المائع

ابتسام جعفر عبد علي*, صاحب نعمة عبد الواحد , مهدية احمد يسر*.**

***) كلية العلوم جامعة الكوفة**

****) كلية التربية جامعة الكوفة**

الخـلاصة

إن الهدف من الدراسة الحالية هو حساب منتوج الترذيذ وذلك بواسطة تصميم منظومة افتراضية تضمنت السليكون البلوري كمادة هدف(نصف قطرها 3سم)، والآركون كأيونات قاصفة وضعت المادة الهدف على بعد 4 سم من أرضية الترسيب .أعدت برامج بلغة Visual basic لحساب قدرة الإيقاف الإلكترونية و قدرة الإيقاف النووية و منتوج الترذيذ كدالة لطاقة الايون القاصف .تشير نتائج الدراسة النظرية الحالية إلى توافق مع العديد من الدراسات العملية المنشورة، وقد نفذت هذه البرامج على أيونات قاصفة أخرى مثل النيون، الهليوم، الكربتون، والزنون إذ أظهرت منحنيات منتوج الترذيذ نتائج مختلفة لكل أيون اعتماداً على كتلة الايون القاصف الذي يزداد منتوج الترذيذ بزيادتها.

مقدمـة :- Introduction

تتكون منظومة الترذيذ من مادة قاصفة هي ايونات الاركون ومادة الهدف هي مادة السليليكون البلوري حيث توضع مادة البلازما داخل وعاء مفرغ من الهواء تحت ضغط واطئ محاط بمجال مغناطيسي ويربط على طرفيه فرق جهد كهربائي معين لتوجية جسيمات البلازما أي توجيهها نحو الهدف بشكل سريع بحيث تقصف ايونات الاركون مادة السيليكون البلوري بانه Yوتصطدم بذراته وبذلك يكسب ايون الاركون الطاقة اللازمة لفصل الذرات من مادة الهدف.و يعرف منتوج الترذيذ عدد الذرات المنفصلة عن سطح الهدف لكل جسيمة ساقطة.ويحسب وفق العلاقة[1] :-

$$Y = \text{الجسيمات الساقطة /الذرات المنفصلة}$$

والجسيمة الساقطة قد تكون ايون او ذرة متعادلة او نيوترون او الكترون.وتحسب الذرات المنفصلة خارج السطح للمادة الصلبة فقط في منتوج الترذيذ ولاتُعّد الجسيمات الساقطة او المنعكسة او التي اعيد انبعاثها ضمن منتوج الترذيذ [1] .
ويعتمد منتوج الترذيذ على طاقة الايون الساقط وكتلته نسبة الى الوزن الذري لمادة الهدف ، وعلى الصفة البلورية والاتجاه البلوري لمادة الهدف وعلى طاقة الربط لذرات الهدف [2,1] .
تعمل منظومة الترذيذ تحت شروط مقاسة مثل ضغط غاز الترذيذ الذي يكون واطئاً جداً إذ يتراوح بين mbar ($10^{-4} - 10^{-2}$) [4 , 3] والفولتية المسلطة على طرفي مادة الهدف ومن ثم تعتمد عليها طاقة الايون القاصف وتكون بحدود KeV (- 0.1 2) . وقد تم اختبار المواد المستعملة كهدف ومادة قاصفة وهما السليكون البلوري كمادة هدف وفيه طاقة الترابط للسطح هي 4.63 eV [5] .العدد الكتلي له 28 وعدده الذري 14 وقد أُخذ بنظر الاعتبار قيم السعة الحرارية النوعية بثبوت الحجم C_v والسعة الحرارية بثبوت الضغط C_P . وان (γ) تمثل النسبة بين C_P/C_V اما المادة القاصفة فهي الاركون وأُخذ له أيضا C_P و C_Vو (γ). ووفقاً لأهم التصاميم المعتمدة في توليد البلازما والتي تعتمد عليها البلازما في كثافتها ودرجة الحرارة والضغط وعدم الاستقرارية فان كثافة البلازما تتراوح بين cm^{-3} ($10^{10} - 3x10^{12}$)[6].

الأنموذج الرياضي Math model

هناك ميكانيكيتان لإيقاف الايونات الموجبة وجلبها إلى الحالة المستقرة عند دخول الهدف الميكانيكية الأولى تتم بنقل طاقة الايون إلى نوى الهدف وهذا يؤدي إلى انحراف الايون الساقط وأيضا خلع عدد من نوى الهدف من مواقعها الأصلية في المشبك البلوري فإذا كانت E_o هي طاقة الايون في أي نقطة X على مساره فأن قدرة الإيقاف النووية هي $(dE/dX)n$. أما ميكانيكية الإيقاف الثانية تتم بتفاعل الايون الساقط مع سحابه من الالكترونات المحيطة بذرات الهدف ويفقد الايون طاقته باصطدامه مع الالكترون حسب تفاعل كولوم إذ من الممكن تحفيز الالكترونات الى مناسيب طاقة اعلى او تلفظ من الذرة (التأين) وتعرف بقدرة الايقاف الالكترونية $(dE/dX)e$ ويمكن الحصول على القدرة الكلية المفقودة $(dE/dX)_T$ كالاتي [7]:

$$(dE/dX)_T = (dE/dX)n + (dE/dX)e \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

فاذا كانت المسافة التي يقطعها الايون قبل ان يصل الى حالة الاستقرار هي X_1 فان :

$$X_1 = \int_{E_0}^{0} \frac{dE}{(dE/dX)_n + (dE/dX)_e} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث:- E_o هي طاقة الايون الابتدائية

ان أعظم فقد في الطاقة يكون عند التصادم المباشر ولهذا فان الطاقة المفقودة من الايون الساقط (M_1)او الطاقة المنتقلة الى كتلة ذرة الهدف (M_2) هي :

$$\frac{1}{2}M_2V_2^2 = \left[\frac{4M_1M_2}{(M_1+M_2)^2}\right]E_O \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

واذا كانت قيم M_1 و M_2 متقاربة عادة فان بالامكان نقل اكبر كمية من الطاقة في عملية الايقاف النووي .إذ تزداد قدرة ايقاف النواة بصورة خطية مع الطاقة عند طاقات واطئة وتصل الى قيمتها العظمى عند طاقة وسطية محددة اما في الطاقات العالية فانها تكون اقل عملية نقل للطاقة بصورة مؤثرة تتناسب قدرة الايقاف الالكترونية مع سرعة الايون الساقط [7,8]

$$(dE/dX)_e = k_e E_o^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

حيث ان k_e دالة ضعيفة نسبياً للكتلة الذرية والعدد الذري [9,7] .

$$K_e \approx \frac{0.079 Z_1^{2/3} Z_2^{1/2} (M_1+M_2)^{3/2}}{(Z_1^{2/3}+Z_2^{2/3})^{4/3} M_1^{3/2} M_2^{1/2}}$$

وكلما زاد فقد الطاقة قل المدى ويمكن القول ان مسقط المدى يزداد بصورة خطية تقريباً مع طاقة الايون .

ويعبر عن الطاقة المفقودة بسبب تصادم الايون مع النواة في حدود الطاقات الواطئة إذ يكون التصادم النووي هو السائد وكالاتي [8]

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_n = S_n \frac{M_1+M_2}{4\pi e^2 Z_1 Z_2 M_1} \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

حيث:

M_1 , M_2 و Z_1 , Z_2 كتلة مادة الهدف والايون الساقط وأعدادهم الذرية على الترتيب S_n المقطع العرضي لقدرة الايقاف النووية ويساوي [10]

$$S_n = \frac{4\pi e^4}{M_2 v^2} Z_1^{*2} Z_2 \ln\left[\left(\frac{M_1 M_2}{M_1+M_2}\right)\frac{v^2 a_{12}}{Z_1^* Z_2 e^2}\right] \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

حيث:a_{12} تمثل المسافة بين النوى وتساوي [9,10] :

$$a_{12} = 0.8853 a_o (Z_1^{*2/3} + Z_1^{2/3})^{-1/2} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

حيث: a_0 نصف قطر بور

Z^*_1 تمثل الشحنة الفعالة للايون وتساوي

$$Z_1^* = Z\gamma$$

حيث : γ هي نسبة C_p/C_v و

ويتم ايجاد منتوج الترذيذ من خلال المعادلة الاتية [12] :

$$y = \int_{t_o}^{\infty} dt \int_{0}^{\infty} dA\phi[T(r,t)] \qquad .....(15)$$

من خلال المعادلة اعلاه نلاحظ ان منتوج الترذيذ هو دالة للزمن وكذلك دالة للمسافة داخل الهدف

$$\phi_{(T)} = n(K_B T / 2\pi M_2)^{1/2} \exp(-U_s / K_B T) \quad .....(16)$$

حيث $\phi_{(T)}$ هي كثافة فيض الجسيمات المترذذة .

U_s طاقة الربط لذرات الهدف وT درجة الحرارة

$$T_{(r,t)} = t^{-2/3}[A_i - r^2/(12Xt^{2/3})]^2 \qquad .....(17)$$

$$\chi = ktT^{-1/2}$$

$$kt = \frac{25}{32}\frac{K_B}{\pi a^2}\sqrt{\frac{K_B T}{\pi M_2}} \qquad .....(18)^{(13)}$$

حيث k_t التوصيل الحراري

a نصف قطر ذرة الهدف [12]

$$A_i = (F'_D / 6\pi\chi n K_B)^{1/3} \qquad .....(19)$$

$$F'_D = (F_{D(x=0)}) = n\alpha(dE/dx \qquad (20)$$

حيث α هو ثابت عديم الابعاد يعتمد على النسبة بين كتلة الهدف الى كتلة الايون القاصف *(M_2/M_1)* وزاوية السقوط [11,12].تم تصميم برنامج بلغة Visual Basic لتنفيذ المعادلات الرياضية التي وردت في الانموذج الذي تم بناؤه للحصول على كل من قدرة الايقاف الالكترونية وقدرة الايقاف النووية كدوال لطاقة الايون القاصف وبعده داخل المادة البلورية (الهدف) لما لهذه العوامل من أهمية في التاثير في زيادة منتوج الترذيذ ،ان كل من الفولتية وبعد الايون داخل الهدف كانت من ضمن مدخلات الانموذج إذ يثبت بعد الايون داخل الهدف ويتم تغيير الفولتية لعدد من الابعاد.تم تصميم برنامج بلغة Visual Basic لتنفيذ المعادلات الرياضية التي وردت في الانموذج للحصول على كل من قدرة الايقاف الالكترونية وقدرة الايقاف النووية كدوال لطاقة الايون القاصف وبعده داخل المادة البلورية (الهدف) لما لهذه العوامل من أهمية في التاثير في زيادة منتوج الترذيذ . وقد استعملت معلومات منظومة أفتراضية .

النتـــائج:-

ان الجسيمات المشحونة تعاني من فقدان الطاقة عند مرورها خلال وسط مادي نتيجة لتصادمها مع ذرات الوسط وهذا ما يدعى بفقدان الطاقة (Energy loss) ، ان مقدار الطاقة التي يفقدها الجسيم في كل وحدة طول من مساره خلال الوسط الموقف او الهدف (stopping medium) يسمى بقدرة الايقاف (stopping power) وهو احد مفاهيم فقدان الطاقة .وقد تم حساب قدرة الايقاف عند مدى معين من الطاقة بالاعتماد على التصادمات القريبة (close collision) والتصادمات البعيده (distance collision) ، وجد ان قدرة الايقاف الكلية مؤلفة من جزئين هما :-

a: قدرة الايقاف الالكترونية .

b: قدرة الايقاف النووية .

تم بناء برنامج بلغة V.B لحساب قدرة الإيقاف الالكترونية وباستعمال البرنامج تم حساب قدرة الإيقاف الالكترونية من المعادلة الرياضية (8) ونتائج البرنامج على شكل علاقة آسية متزايدة بين قدرة الإيقاف الالكترونية وطاقة الايون الساقط كما في الشكل (1) ويرجع هذا الشكل الى فعالية قدرة الإيقاف الالكترونية في مناطق الطاقة المختلفة للايون الساقط إذ تظهر فعاليتها في مناطق الطاقة العالية فقط وهذا يتناسب مع التوزيع الطاقي للجسيمات القاصفة وكذلك يظهر اقتراب مقبول من القيم المنشورة [7] . وعند اجراء توفيق منحنى(Curve Fitting) للنتائج وجد انه يمكن حساب $(dE/dX)_e$ من المعادلة الآتية وهي متعدد الحدود من الدرجة الثالثة :-

$(dE/dX)_e = q_{0+} q_{1E+} q_{2E}{}^2 + q_{3E}{}^3$

حيث:

$q_0 = 9.07511$

$q_1 = 2.6736E\text{-}5$

$q_2 = -5.55565E\text{-}12$

$q_3 = 5.02981E\text{-}19$

تـــم بنـــاء برنـــامج بلغـــة V.B لحســـاب قـــدرة الإيقـــاف النوويـــة وباســـتعمال البرنـــامج تم حسابها باعتماد المعادلة (9) وقد استحصلت قيم قدرة الإيقاف النووية لمدى معين من طاقة ايون الاركون والشكل (2) يبين شكل العلاقة لها كدالة لطاقة الايون القاصف حيث يظهر الشكل ارتفاعاً في قيمها عند الطاقات الواطئة ثم يبدأ هذا الارتفاع بالانخفاض بزيادة طاقة الايون وهذا ينسجم مع التوزيع الطاقي للجسيمات القاصفة حيث يظهر تأثير قدرة الإيقاف النووية في الطاقات الواطئة للايون القاصف عند مقارنة الشكل مع المنحني العملي [7] الشكل (3) وجد أن النتائج النظرية تقع ضمن الحدود المتوقعة لها إذ أن النتائج العملية التي تم الحصول عليها تبين قدرة الإيقاف النووية للزرنيخ والفسفور والبورون في السيليكون ومن مقارنة العدد الكتلي للعناصر الثلاثةَ تبين ان الاركون يقع ضمن الحد بين الزرنيخ والفسفور وهو اقرب إلى منحني الفسفور لتقارب أعدادهم الكتلية ويظهر المخطط العملي لهذه العناصر تشابه في سلوك المنحنيات الثلاثةَ مما يعطي الشكل قدرة الإيقاف النووية الناتجة من البرنامج مصداقية إذ يسلك نفس السلوك لباقي العناصر في الشكل (4) . وعند أجراء توفيق منحني (Curve Fitting) للنتائج وجد أن قدرة الإيقاف النووية تحسب من المعادلة التالية :-

$$(dE/dX)_n = L_o E^{L_1}$$

حيث:- $L_o = 2179.46$

$L_1 = -0.997185$

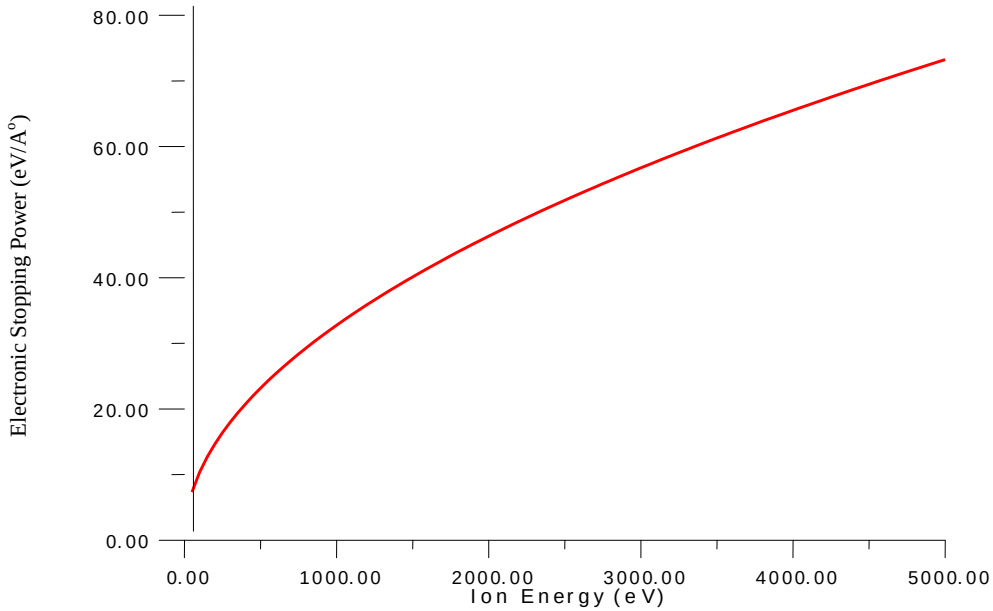
والشكل(3) يعطي منحني القدرة المفقودة الكلية

تم تصميم برنامج بلغة V.B للحصول على منتوج الترذيذ بصفته دالة لطاقة الايون القاصف من المعادلة (15) ولقد وجد انه يزداد بزيادة طاقة الايون القاصف وتكون هذه الزيادة عالية في ا لطاقات الواطئة ثم تقل نسبة الزيادة في منتوج الترذيذ مع زيادة طاقة الايون القاصف .ووجد ايضاً انه يختلف باختلاف قيمة r أي بعد الايون داخل مادة الهدف والشكل (5) يبين عدد من المنحنيات لمنتوج الترذيذ باختلاف قيمة r .

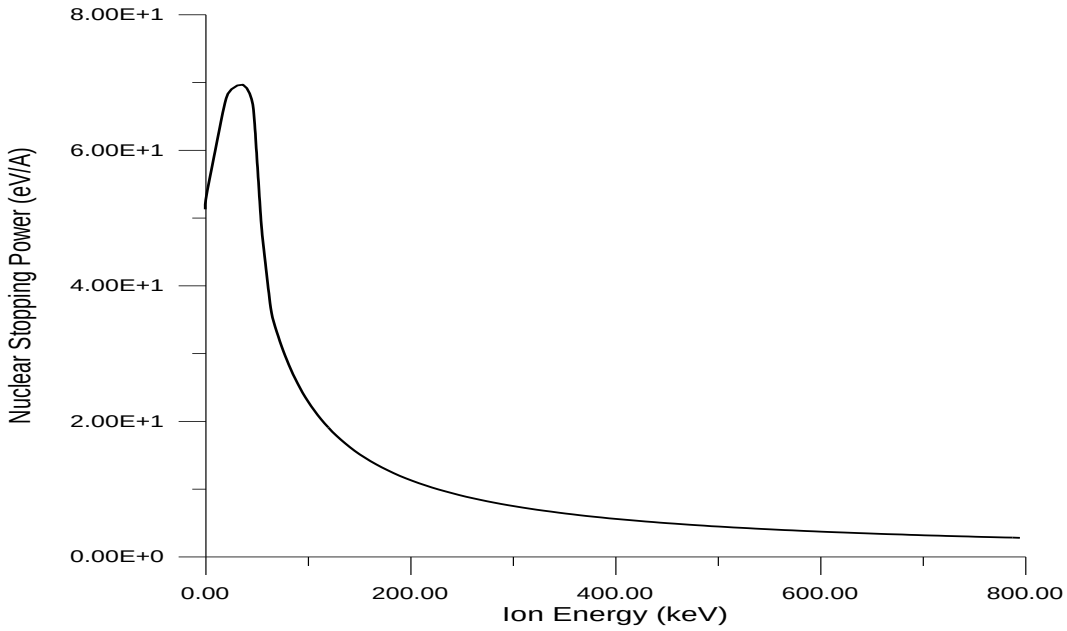
ومن مقارنة القيم النظرية للبرنامج مع القيم العملية المنشورة [14] وجد أن منتوج الترذيذ عند $r=60a_o$ الشكل (6) يعطـــــي توافـــــق جيـــــد مـــــع القـــــيم العمليـــــة إذ يظهـــــر فـــــي المنطقـــــة (0.1 -0.5)KeV تقارب واضح بين القيم النظرية والقيم العملية للعالم [14](Eernisse)

أما عند القيم (1-2)KeV فقد وجد أنها تقترب اقتراباً مقبولاً مع القيم التي حصل عليها (Blank,Witlmaack) ،أما عند $r=40a_o$ الشكل (7) فان النتائج النظرية تعطي تقارباً مقبولاً مع النتائج العملية للعالم [14](Southernetal) ابتداءً من الطاقة 1KeV وانتهاء بـ 2KeV وهذا الاقتراب بين القيم النظرية والقيم العملية لأكثر من عالم ضمن مديات طاقة مختلفة وضمن أبعاد مختلفة للايون داخل الهدف يعطي موثوقية أكثر للانموذج .

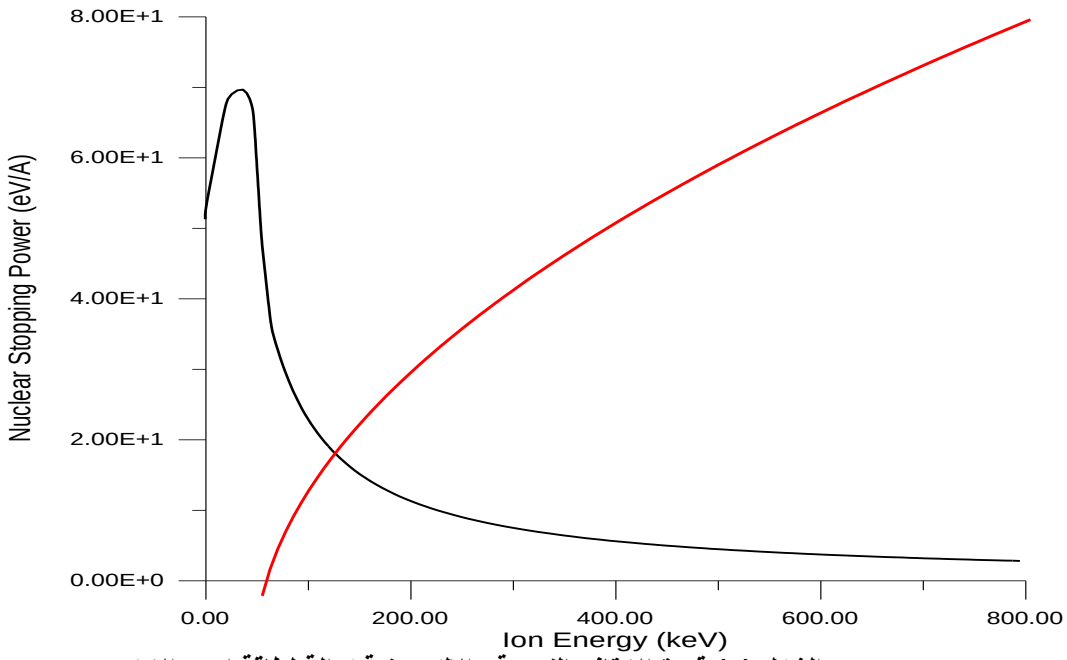
تم الحصول على منتوج الترذيذ بصفته دالة لطاقة الايون القاصف باختيار عدة عناصر كايون قاصف والشكل (8) يبين منتوج الترذيذ بصفته دالة لطاقة الايون وقد وجد أن منحنيات منتوج الترذيذ كدالة لطاقة الايون القاصف تسلك نفس السلوك ولكن تزداد قيمتها بزيادة العدد الكتلي للايون القاصف ويعزي ذلك لزيادة كتلتها ومن ثم زيادة زخمها الخطي و زيادة عدد الذرات التي تكتسب طاقة كافية للأفلات من مادة الهدف نتيجة اصطدامها بالايون القاصف .



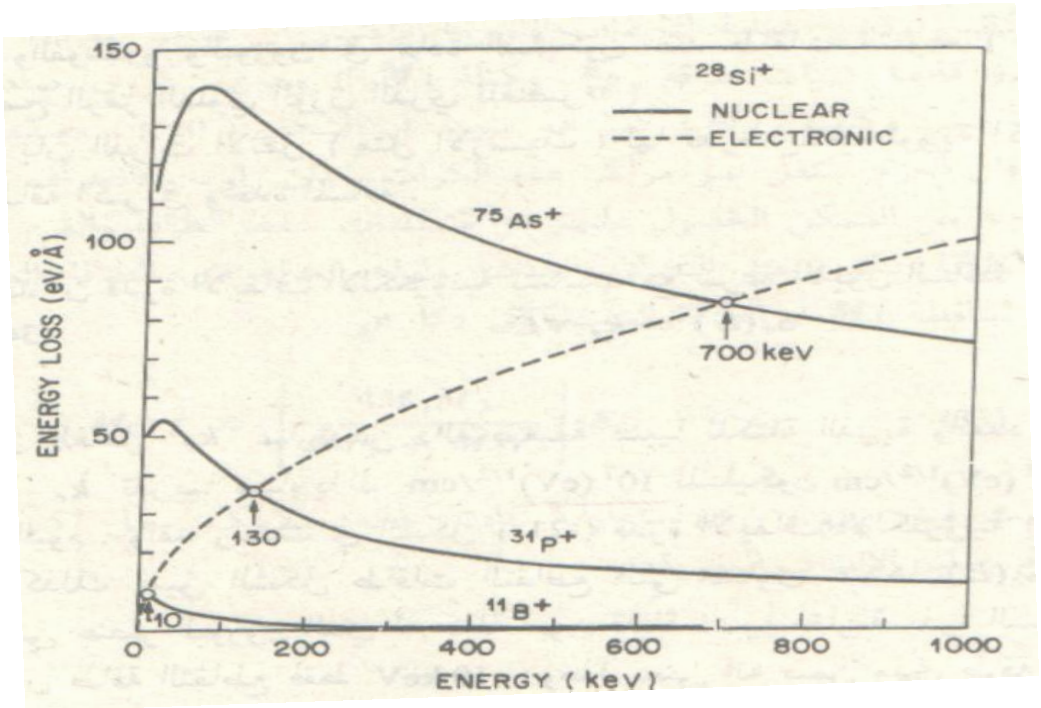
الشكل(1) يمثل طاقة الإيقاف الالكترونية كدالة لطاقة ايون الاركون



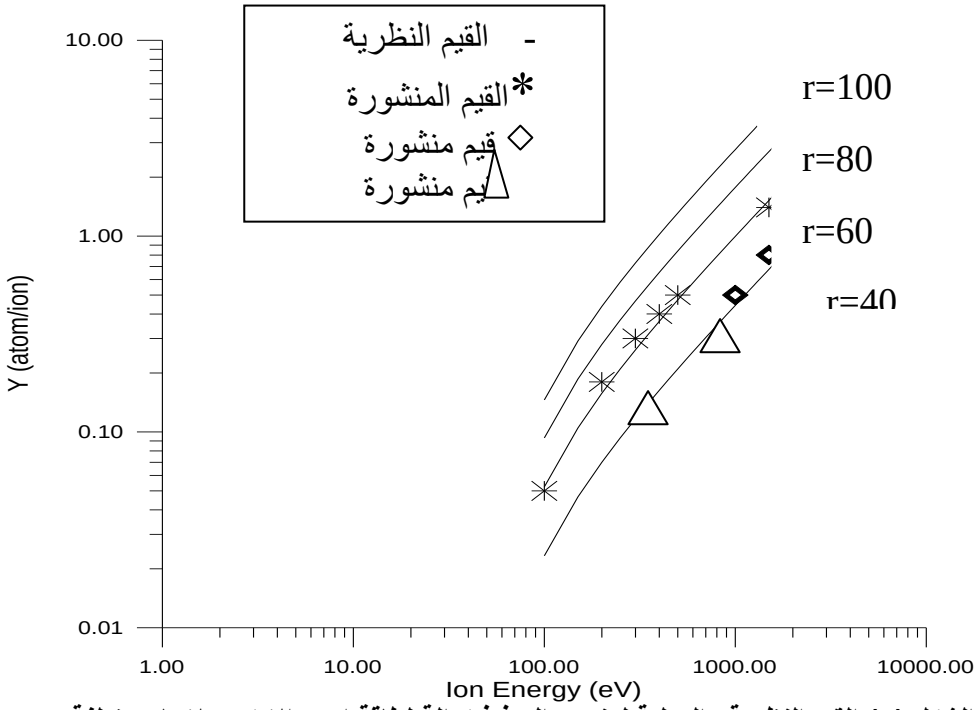
الشكل (2) قدرة الإيقاف النووية كدالة لطاقة ايون الاركون



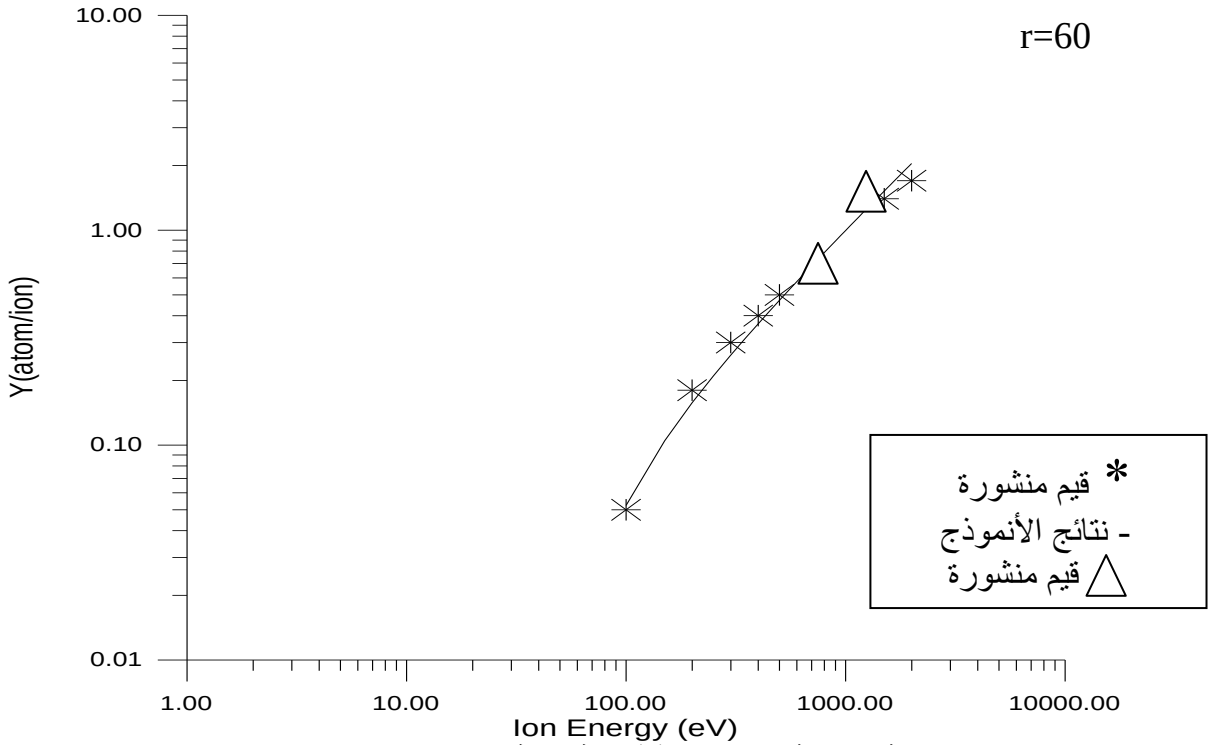
الشكل (3) قدرة الإيقاف النووية والالكترونية كدالة لطاقة ايون الاركون



الشكل (4) يمثل قدرة الايقاف النووية والالكترونية للارسنيك والفسفور والبورون في السيليكون

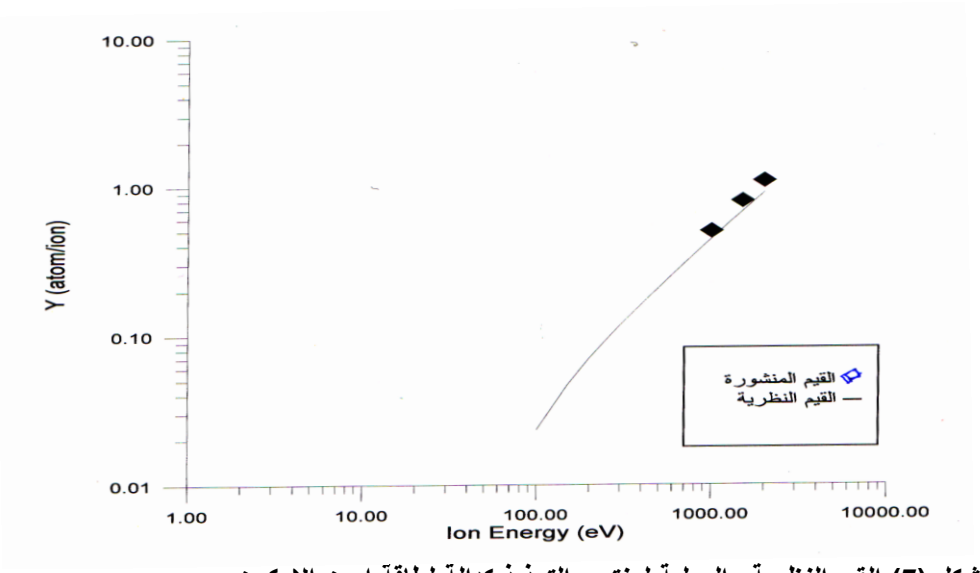


الشكل (5) القيم النظرية والعملية لمنتوج الترذيذ كدالة لطاقة ايون الاركون لابعاد مختلفة

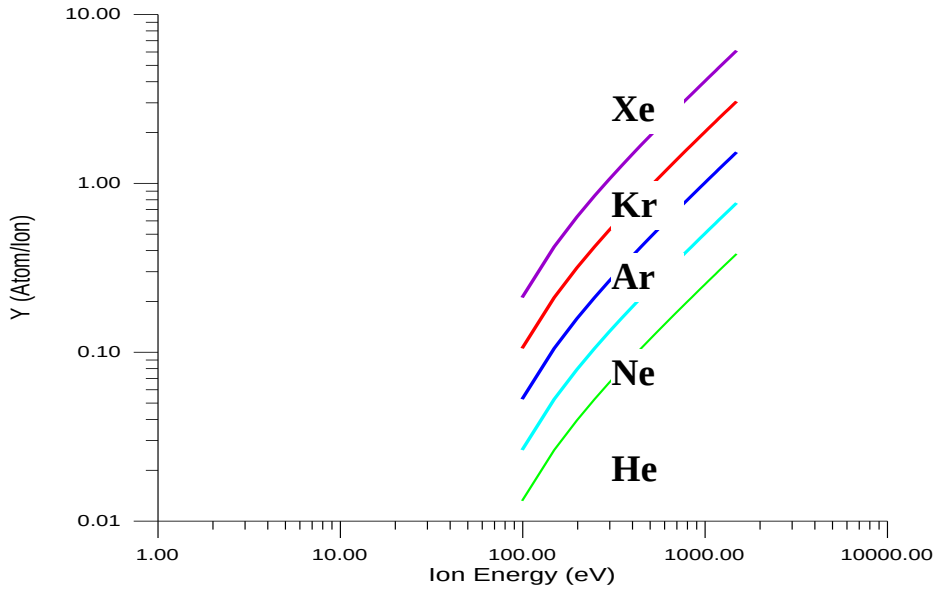


الشكل(6) القيم النظرية والعملية لمنتوج الترذيذ كدالة لطاقة ايون الاركون الساقط

r=40



الشكل (7) القيم النظرية والعملية لمنتوج الترذيذ كدالة لطاقة ايون الاركون



الشكل (8) منتوج الترذيذ كدالة لطاقة الايون لمجموعة من الغازات

الاستنتاجات

1- أن نتائج منتوج الترذيذ المستحصـلة في هذا الانموذج تنسجم مع النتائـج العمليـة لبحوث منشورة [36] .

2- ان قيم قدرة الايقاف النووية والالكترونية المستحصلة من هذا الانموذج تقترب اقتراباً مقبولاً من النتائج المنشورة [7] .
3- يمكن اعتماد الانموذج لحساب منتوج الترذيذ كدالة لطاقة الايون للبعد (r) لأي نوع من الايونات القاصفة مع الأخذ بنظر الاعتبار تغيير كل من العدد الذري والعدد الكتلي للايون القاصف وايضاً يصح لاي مادة هدف ذات تركيب بلوري مشابه للمادة المستعملة في هذا البرنامج وهي السيليكون .
5- اعتماد البرامج التي تم تصميمها في هذه الدراسة لغرض حساب قدرة الإيقاف النووية والالكترونية

References

[1]Behrisch R. (1981): Sputtering by practical bombardment I Topics. in:Applied physics.springer.Berlin,Heide iberg,N.Y

[2] Jakas M, Bringa E and Johuson R (2003): Engineering physics university of Virginia,VA22903,U.S.A.

[3] يسر، مهدية احمد.(2002): أنموذج رياضي لمعدل الترسيب للأغشية الرقيقة المحضرة بطريقة الترذيذ . أطروحة دكتوراه .جامعة بغداد .كلية التربية ،ابن الهيثم.

[4]Ali N. (1998): Design and construction of Asputtring source.

[5]Kittel C. (1976):Introduction to solid state physics.New york.

[6] عبدالكريم، عاصم . عبد الله، رحمن رستم. (1991): فيزياء البلازما، جامعة الموصل .

[7] احمد، حسين علي. حياتي، فهد غالب. مترجم عن S.M.Z,(1990) نبائط أشباه الموصلات فيزياء وتقنية .

[8]Ownsend P.D, Kelly J.C., Hourtlry N.E.W .Ion Implantation sputtering and their Applications.

[9] خضر عيد. رمزي، امنه احمد . (1978): الحرارة والثرموداينمك . جامعة بغداد .

[10]لخزرجي ،وسام جعفر عزيز . (2000): قدرة الإيقاف والتطوح للطاقة الايونات السريعة القريبة من السطح . الجامعة المستنصرية.

[11]Sigmund P. (1981): Sputtering by practical bombardment I Topics. in :Applied physics.springer.Berlin,Heide iberg,N.Y.

[12]Sigmund Pand Claussen C (1981):J.Appl.physics.,Vol.52,No.2,Feb-ary.

[13]Bloch F.(1933):physics ,No 81 P 363.

[14]Andersen H.H. and Bay H.L.(1981):Sputtering by particle ombardment I.N.Y.

The Sputtering Field Calculation For Assumption plasma System By Fluid Dynamic Model

Ibtsam J . Al – fetlawy , Mahdya A . Yeser , Sahib N . Abdul - Wahid

Abstract

The present study was undertaken to calculate sputtering yield by designing theoretical system which included crystalline silicon as a target material(3 cm radius) and Argon as bomber ion, which be present 4 cm distance from the substrate.

For this purpose, many programs were design in Visual basic, where the program was planned to compute the electronic stopping power , the nuclear stopping power and sputtering yield as a function of energy of bombing ion . The results of present theoretical study were revealed compatible with those practical published results as well as the program was run out for other bomber ions like Neon, Helium, Krypton, and Xenon. Each ion pointed out different sputtering yield which ejective increasing depending on the mass of bomber ion.